

Viivi Nousiainen

# LUKIOLAISTEN KÄSITYKSIÄ KASVI- HUONEILMIÖSTÄ JA ILMASTON LÄM- PENEMISESTÄ

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Diplomityö  
Elokuu 2019

# TIIVISTELMÄ

Viivi Nousiainen: Lukiolaisten käsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä  
Tampereen yliopisto  
Teknis-luonnontieteellinen DI-tutkinto-ohjelma  
Diplomityö  
Elokuu 2019

---

Ilmastomuutos on pääosin ihmisen aiheuttama ympäristöongelma, joka johtuu kasvihuonekaasujen lisääntyneestä määrästä maapallon ilmakehässä. Yksilöt täytyy saada toimimaan ilmastomuutoksen hillitsemiseksi, ja aiemman tutkimuksen mukaan ilmastoystävällistä toimintaa edesauttaa paremmat tiedot ilmaston lämpenemisestä ja kasvihuoneilmiöstä. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää suomalaisten fysiikan ylioppilaskirjoituksissa kirjoittavien abiturienttien käsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Vastaavaa tutkimusta ei olla aiemmin tehty, vaikka suomalaisten peruskouluikäisten ja luokanopettajaopiskelijoiden käsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmastomuutoksesta on tutkittu. Lisäksi löytyy useita muissa maissa tehtyjä tutkimuksia eri ikäisten oppilaiden ja opiskelijoiden käsityksistä.

Tutkimuksen aineistona toimi otos kevään 2017 fysiikan ylioppilaskokeen ilmastomuutokseen liittyvän tehtävän 13 vastauksista. Tehtävässä oli neljä kohtaa, joista ensimmäinen kasvihuoneilmiötä koskeva kysymys oli tämän tutkimuksen kannalta merkittävin. Tutkimuksen otoksena oli 243 vastausta, jotka olivat 19 eri lukion opiskelijoilta. Otos oli noin 5,5 % kaikista tehtävän 13 vastauksista. Analyysimenetelmänä käytettiin sisällönanalyysia, jonka jälkeen aineisto kvantifioitiin. Aiempien tutkimusten mukaan tutkittavien käsitykset kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä ovat puutteellisia, ja eri ikäisillä oppilailla ja opiskelijoilla esiintyy samankaltaisia virhekäsityksiä. Aiempien tutkimusten avulla tämän työn tutkittaviksi asioiksi muodostuivat kasvihuonekaasuista ja kasvihuoneilmiön lämmittävästä vaikutuksesta ymmärtäminen, kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtäminen sekä kasvihuoneilmiöön ja ilmaston lämpenemiseen liittyvät virhekäsitykset. Aineiston luokittelussa käytettiin apuna Microsoft Excel -ohjelmaa, jossa jokaisen kokelaan kohdalla tarkasteltiin jokaista tutkittavaa asiaa.

Tutkimuksen tuloksista selvisi, että opiskelijoilla oli hyvin heikot tiedot kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Kasvihuoneilmiöllä tiedettiin olevan maapalloa lämmittävä vaikutus, mutta luonnollinen kasvihuoneilmiö sekoitettiin usein voimistuvaan kasvihuoneilmiöön. Kaikki eivät osanneet käyttää termiä kasvihuonekaasut kasvihuoneilmiötä koskevassa kysymyksessä, ja hiilidioksidin tai vesihöyryn lisäksi kasvihuonekaasuista mainittiin lähinnä metaani. Kasvihuoneilmiön mekanismi ymmärrettiin hyvin puutteellisesti, ja useimmiten puhuttiin ainoastaan Auringosta peräisin olevasta säteilystä, joka pääsee maapallolle mutta ei sieltä pois. Säteilyn absorboitumisesta tiedettiin harvoin. Lisäksi opiskelijoilla ilmeni useita virhekäsityksiä. Kasvihuonekaasuihin liittyvät virhekäsitykset sekä kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen sekoittaminen otsonikatoon ilmenivät usein, sekä joissain vastauksissa kasvihuoneilmiö tai ilmaston lämpeneminen yhdistettiin muihin ympäristöhaittoihin tai vastauksissa ilmeni epäloogisia virhekäsityksiä.

Tutkittavat lukiolaiset olivat saaneet vuoden 2003 lukion opetussuunnitelman ja vuoden 2004 perusopetuksen opetussuunnitelman mukaista opetusta. Opetussuunnitelmien mukaan tutkittavilla olisi pitänyt olla hyvät tiedot kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä, mutta oppimista saattoi heikentää asioiden opettaminen eri oppiaineiden ja kurssien yhteydessä laajempien kokonaisuuksien sijasta. Nykyisissä opetussuunnitelmissa ilmastomuutosta korostetaan aiempaa enemmän, mutta asiat ovat edelleen hajallaan eri yhteyksissä. Jatkossa opiskelijoiden ymmärrystä kasvihuoneilmiöstä ja ilmastomuutoksesta voisi mahdollisesti parantaa opettamalla ilmiöistä oppiainerajat ylittävinä kokonaisuuksina. Asioiden oppimisen kannalta myös opettajien osaaminen on merkittävässä osassa, minkä takia opettajien osaamista olisi hyvä tutkia ja koulutukseen panostaa. Eri kirjasarjojen lähestymistä kasvihuoneilmiöön ja ilmaston lämpenemiseen voisi myös selvittää ja luoda selkeä linja ja ohjeistus siitä, kuinka laajasti ja miten eri luokka-asteilla asioita käsitellään.

Avainsanat: ilmastomuutos, kasvihuoneilmiö, ilmiöiden ymmärtäminen, fysiikka

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

# ABSTRACT

Viivi Nousiainen: Upper-secondary school students' understanding of the greenhouse effect and global warming  
Tampere University  
Master's Degree Programme in Engineering and Natural Sciences  
Master of Science Thesis  
August 2019

---

Climate change is a global environmental problem which is mainly caused by human activities and especially due to the increased amount of greenhouse gases in the Earth's atmosphere. People need to act against the climate change, which is more probable if they first have better understanding of the global warming and the greenhouse effect. The goal of this study was to figure out the Finnish upper-secondary school physics students' understanding of greenhouse effect and the global warming. Quite similar research has not been done before, although Finnish comprehensive school students' and primary school student teachers' understanding of the greenhouse effect and climate change has been studied. In addition, several studies have been carried out around the world about the understanding of pupils and students of different ages.

Research material used on this study was a sample of answer sheets of question 13 in physics matriculation test of spring 2017. The question had four parts, first of which was about greenhouse effect and it turned out to be most significant for this study. The sample consisted answers of 243 students from 19 different upper-secondary school. The sample was about 5,5 % of all answers for question 13. The used method for analysis was content analysis, after which the material was quantified. According to previous studies, the understanding of the greenhouse effect and global warming is inadequate, and pupils and students have similar misunderstandings. With help of these previous studies the issues to be studied in this research were about understanding of the greenhouse gases and warming effect of the greenhouse effect, understanding the mechanism of the greenhouse effect, and the misunderstandings about the greenhouse effect and global warming. Microsoft Excel was used for categorizing the answers and each answer was examined of each studied issue.

The results of the study revealed that students had very poor knowledge of the greenhouse effect and global warming. Students knew that the greenhouse effect has a global warming effect, but the natural greenhouse effect was often mixed with the enhanced greenhouse effect. Everyone was not able to use the term greenhouse gases when answering the question about the greenhouse effect and other greenhouse gases than carbon dioxide or water vapor were rarely mentioned apart from methane. The mechanism of the greenhouse effect was poorly understood and most of the answers only consisted the idea that radiation from Sun reaches Earth but not back to space from there. Only a few knew about the absorption of radiation. Students had also several misunderstandings. There were a lot of greenhouse gas related misunderstandings and greenhouse effect or global warming were often mixed with ozone depletion. In some answers the greenhouse effect or global warming was linked to other environmental hazards or the answers consisted other illogical misunderstandings.

The upper secondary school students who wrote the answers had received their education based on the curriculum of upper secondary school from year 2003 and curriculum of basic education from year 2004. According to the curriculum these students should have had good knowledge of the greenhouse effect and global warming, but the learning process might have been challenged while teaching greenhouse effect and global warming have been divided to different school subjects and courses. Current curriculum is more focused on climate change, but the content is still divided under different contexts. In the future students' understanding of the greenhouse effect and climate change could perhaps be improved by teaching these phenomena as their own subject. When educating the competence of teachers also plays a significant role which is why it could be beneficial to study the competence of teachers and invest in their education. The approach to greenhouse effect and global warming in different book series could also be studied and instructions to how these phenomena are taught should be improved.

Keywords: Climate change, Greenhouse effect, Conceptual understanding, Physics

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen yliopiston fysiikan laitokselle vuoden 2019 aikana. Suuret kiitokset ohjaajilleni Terhi Mäntylälle ja Leena Partaselle tutkimuksen mahdollistamisesta ja mielenkiintoisesta tutkimusaiheesta. Kiitokset myös joustavuudesta, rakentavista kommentteista ja asiantuntevasta yhteistyöstä. Työn tarkistuksesta haluan kiittää Terhi Mäntylää, Leena Partasta ja lisäksi Miikka Dal Masoa.

Lisäksi kiitokset vanhemmilleni, jotka ovat jaksaneet kuunnella ja tukea niin diplomityöhön kuin muihinkin opintoihin liittyen. Kiitokset myös arvokkaista kommentteista diplomityön eri vaiheissa. Suuri kiitos myös rakkaalle kihlatulleni Jussille kärsivällisyydestä, tuesta ja vakaasta uskosta osaamiseeni.

Raumalla, 2.8.2019

Viivi Nousiainen

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. KASVIHUONEILMIÖ JA ILMASTONMUUTOS .....	4
2.1 Kasvihuoneilmiö käsitteenä .....	4
2.2 Kasvihuoneilmiön voimistuminen ja ilmastomuutos .....	7
2.3 Kasvihuoneilmiön tutkimisen historiaa .....	13
3. KASVIHUONEILMIÖN JA ILMASTONMUUTOKSEN YMMÄRTÄMINEN .....	17
3.1 Käsitteet aiempien tutkimusten perusteella .....	17
3.1.1 Tutkimusten otokset ja aineistot .....	18
3.1.2 Virhekäsitteet .....	21
3.2 Kasvihuoneilmiö ja ilmastomuutos suomalaisissa opetussuunnitelmissa .....	26
3.2.1 Vuosien 2003 ja 2004 opetussuunnitelmat .....	26
3.2.2 Uudet opetussuunnitelmat .....	29
4. AINEISTO JA SEN ANALYSOINTI .....	31
4.1 Tutkimuksen tavoitteet .....	31
4.2 Tutkimuksen aineisto .....	31
4.3 Aineiston analysointi ja luokittelu .....	33
4.3.1 Kasvihuonekaasuista tietämisen analysointi .....	34
4.3.2 Kasvihuoneilmiön mekanismien analysointi .....	35
4.3.3 Virhekäsitysten analysointi .....	39
5. TULOKSET .....	42
5.1 Tiedot kasvihuonekaasuista ja lämmittävästä vaikutuksesta .....	42
5.2 Kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtäminen .....	43
5.2.1 Kategoriat 5 ja 4 .....	47
5.2.2 Kategoriat 3 ja 2 .....	48
5.2.3 Kategoriat 1 ja 0 .....	51
5.2.4 Kasvihuoneanalogia ja kasvihuonekaasukerrokset .....	52
5.3 Virhekäsitteet kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä .....	53
5.3.1 Luonnollisen ja voimistuvan kasvihuoneilmiön sekoittaminen .....	54
5.3.2 Otsonekatoon sekoittaminen .....	55
5.3.3 Muihin ympäristöhaittoihin yhdistäminen .....	57
5.3.4 Kasvihuonekaasuihin liittyvät virheelliset tiedot .....	58
5.3.5 Epäloogiset virhekäsitteet .....	61
5.4 Luotettavuustarkastelu .....	61

6. POHDINTA .....	64
6.1 Kasvihuonekaasut sekä luonnollinen ja voimistuva kasvihuoneilmiö ..	64
6.2 Kasvihuoneilmiön mekanismi .....	65
6.3 Otsonikatoon, muihin ympäristöhaittoihin ja epäloogisiin asioihin sekoittaminen .....	67
7. YHTEENVETO.....	70
LÄHTEET .....	73
LIITE A: OTE ANALYYSITÄULUKOSTA.....	78

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

CFC	freoni, chlorofluorocarbon
IPCC	the Intergovernmental Panel on Climate Change
IR-säteily	infrapunasäteily
RCP	the Representative Concentration Pathways
UV-säteily	ultraviolettisäteily
YTL	ylioppilastutkintolautakunta

# 1. JOHDANTO

Ilmastonmuutos on maailmanlaajuinen ympäristöongelma, joka johtuu kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, pitoisuuksien kasvusta maapallon ilmakehässä. Ilmastonmuutos tarkoittaa maapallon keskilämpötilan nousua, ja sen seurauksena muun muassa merenpinta nousee ja sademäärät muuttuvat. (IPCC 2013) Ilmastonmuutoksella on vakavia vaikutuksia esimerkiksi ruoan tuotantoon, ekosysteemeihin, elinympäristöihin ja yhteiskunnan talouteen (Ilmastonmuutoksen vaikutukset). Parhaillaan käynnissä oleva ilmaston lämpeneminen on erittäin suurella todennäköisyydellä pääosin ihmisen aiheuttamaa, ja maapallon tuleva keskilämpötilan nousu riippuu merkittävästi siitä, kuinka paljon kasvihuonekaasuja ihmiskunta päästää jatkossa ilmakehään. (IPCC 2013)

Vaikka tiedettäisiin, että hiilidioksidipäästöjä täytyy vähentää ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, se ei välttämättä saa ihmisiä toimimaan. Heidän täytyy ymmärtää hiilidioksidin toiminta kasvihuonekaasuna, jotta he saavat käsityksen hiilidioksidipäästöjen vähentämisen merkityksestä. (Reinfried et al. 2012) Näin ollen ihmisillä täytyy olla tieteelliseen tutkimukseen perustuvaa tietoa ilmastonmuutoksesta, mikä edellyttää myös ymmärrystä kasvihuoneilmiöstä, jotta he suuremmalla todennäköisyydellä alkavat toimia ilmastonmuutosta vastaan. Yhdysvalloissa lukioikäisille tehdyn tutkimuksenkin mukaan opiskelijoiden toiminta ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi parani huomattavasti ilmastonmuutoksesta pidetyn kurssin jälkeen, kun heidän tietonsa olivat lisääntyneet (McNeill, Vaughn 2012).

Sen lisäksi, että yksilöt pitäisi saada toimimaan ilmastonmuutosta vastaan, täytyy nykyajan nuorten saada tietoa siitä, millaisia seurauksia ilmastonmuutoksesta seuraa tulevaisuudessa. Koulutus on tässä merkittävässä roolissa. Ilmastonmuutoksen syiden ja vaikutusten ymmärtämisen pitäisikin olla ensisijaisena tavoitteena koulutuksessa, jotta tämän ajan nuoret pystyvät tulevaisuudessa osallistumaan kasvihuonekaasupäästöjä koskeviin keskusteluihin ja vaikuttamaan aktiivisina kansalaisina (Reinfried et al. 2012). Nuorten ilmastonmuutosta koskevien tietojen lisäämisellä voidaan myös mahdollisesti vaikuttaa heidän suuntautumiseensa sellaisille aloille, joissa ilmastonmuutokseen voidaan kehittää ratkaisuja.



Ilmastonmuutokseen liittyy usein myös psyykkistä ilmastoahdistusta, joka voi johtua ilmastonmuutoksen aiheuttamien uhkakuvien tiedostamisesta. Lisäksi ahdistusta voi aiheuttaa kokemus siitä, ettei toimi riittävästi ilmastonmuutoksen lievittämiseksi. (Pihkala 2018) Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa luokanopettajaopiskelijat ilmaisivat pelon ja syyllisyyden tunteita, jotka heräsivät ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja toiminnan puutteesta (Hufnagel 2015). Vaikka ilmastonmuutoksen käsittely aiheuttaisi osaltaan negatiivisia tunteita, ei ilmastonmuutostietoisuuden ole havaittu pahentavan ahdistusta, jos samalla on pystytty löytämään toimia ongelman lievittämiseksi (Pihkala 2018). Näin ollen onkin tärkeää, kuinka tietoja ilmastonmuutoksesta lisätään. Pelottavien uhkakuvien painottaminen voi aiheuttaa lisää ahdistusta, kun taas säilyttämällä toivon näkökulma ja keskittymällä asioiden ymmärtämiseen voi ilmastoahdistusta olla mahdollista hillitä. Ilmastonmuutoksen syiden ymmärtäminen on tässä tärkeää, kuten myös sen torjumismahdollisuudet.

Nuorten ja nuorten aikuisten tietoja sekä käsityksiä ilmastonmuutoksesta ja kasvihuoneilmiöstä on eri maissa tutkittu jo melko paljon (mm. Andersson, Wallin 2000, Ekborg, Areskoug 2006, Dawson 2015, Lin 2017). Suomessa tutkimusta on tehty kuitenkin kohdallaisen vähän (mm. Ratinen 2008), eikä oletettavasti ollenkaan koskien lukioikäisiä. Tässä työssä onkin tarkoituksena tutkia, kuinka lukion päättävät fysiikan opiskelijat ymmärtävät kasvihuoneilmiön, ja mitä väärinkäsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmastonmuutoksesta heillä esiintyy. Aineistona toimii otos kevään 2017 fysiikan ylioppilaskokeiden vastauksista ilmastonmuutosta koskevan tehtävän a-kohtaan, jossa kysyttiin ”Mitä tarkoittaa maapallon ilmastoon liittyvä termi kasvihuoneilmiö?”. Vaikka kysymys koskee kasvihuoneilmiötä, osoittavat aiemmat tutkimukset (mm. Andersson, Wallin 2000), että kasvihuoneilmiö sekoitetaan usein voimistuvaan kasvihuoneilmiöön ja ilmastonmuutokseen, joten näin ollen tämän työn aineiston pohjalta voidaan tutkia myös opiskelijoiden virhekäsityksiä ilmastonmuutoksesta.

Aiemmissa tutkimuksissa on saatu selville, että eri-ikäisillä oppilailla ja opiskelijoilla eri maissa on puutteellinen ymmärrys ilmastonmuutoksesta ja kasvihuoneilmiöstä, ja että heillä esiintyy useita virheellisiä käsityksiä (mm. Andersson, Wallin 2000, Papadimitriou 2004, Lin 2017). Kasvihuoneilmiön toimintaperiaatteen ymmärtäminen on usein hyvin puutteellista tai virheellistä, ja kasvihuoneilmiöön tai ilmastonmuutokseen sekoitetaan usein otsonikerroksen heikkeneminen (mm. Andersson, Wallin 2000, Dawson 2015). Myös muita ympäristöhaittoja, kuten ydinjäte tai roskaaminen, saatetaan sekoittaa ilmastonmuutokseen (mm. Papadimitriou 2004). Kasvihuonekaasuista tiedetään useimmiten hiilidioksidi, mutta muita kasvihuonekaasuja tiedetään huonosti (mm. Shepardson et al.

2011). Lisäksi kasvihuonekaasujen lähteisiin liittyy paljon virhekäsityksiä, ja jossain määrin ilmenee myös yksittäisiä epäloogisia virhekäsityksiä koskien ilmastonmuutosta tai kasvihuoneilmiötä (mm. Lin 2017).

Aiempia tutkimuksia kasvihuoneilmiön ja ilmastonmuutoksen ymmärtämisestä tarkastellaan tarkemmin luvussa 3.1. Sitä ennen perehdytään kasvihuoneilmiön ja ilmastonmuutokseen teoriaan, eli määritellään oikeat käsitykset, jotka asioista pitäisi olla. Kasvihuoneilmiön kerrotaan olevan luonnollinen ilmiö ja ilmastonmuutoksen johtuvan kasvihuoneilmiön voimistumisesta. Lisäksi tarkastellaan kasvihuoneilmiön tutkimisen prosessia, josta käy ilmi, että kasvihuoneilmiötä on tutkittu jo kohtalaisen kauan. Aiempien tutkimusten jälkeen käsitellään suomalaisia opetussuunnitelmia ilmastonmuutoksen ja kasvihuoneilmiön näkökulmasta, jotta saadaan selville, mitä tutkittavien lukiolaisten kuuluisi osata aiheista ylioppilaskirjoituksissa. Tutkimuksen aineistoa ja analysointia kuvataan luvussa 4, minkä jälkeen luvussa 5 esitellään saadut tulokset. Luvussa 6 tuloksia verrataan aiempiin tutkimustuloksiin ja pohditaan opiskelijoiden ymmärryksen tasoa kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Lopuksi työtä kootaan yhteen luvussa 7 sekä pohditaan jatkotutkimus- ja kehitysideoita.

## 2. KASVIHUONEILMIÖ JA ILMASTONMUUTOS

Tässä luvussa perehdytään kasvihuoneilmiön teoriaan ja historiaan. Luvussa 2.1 tutustutaan kasvihuoneilmiön mekanismiin, ja luvussa 2.2 tarkastellaan voimistuvaa kasvihuoneilmiötä ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Ilmaston lämpenemisen perustellaan aiheutuvan voimistuvasta kasvihuoneilmiöstä. Luvun 2.3 tarkoituksena on kuvata kasvihuoneilmiön tutkimisen prosessia. Siinä ilmenee, että kasvihuoneilmiötä on alettu tutkia jo 1800-luvulla, mutta ymmärrys on kehittynyt ajan myötä ja kehittyä edelleen.

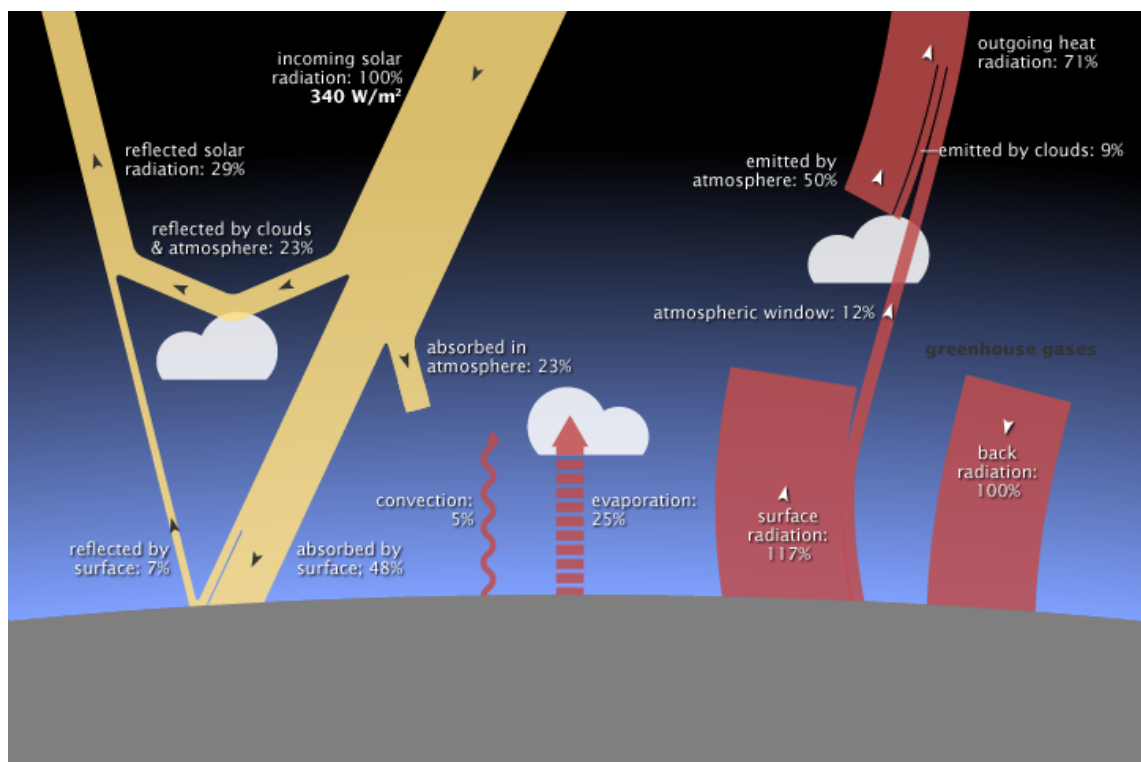
### 2.1 Kasvihuoneilmiö käsitteenä

Maapallolle tulee energiaa Auringon säteilynä, josta osa heijastuu takaisin avaruuteen, mutta suuri osa absorboituu maapallolle. Auringosta tuleva säteily on suurelta osin näkyvää valoa, ja se läpäisee Maan ilmakehän hyvin. Myös maapallo emittoi sähkömagneettista säteilyä, mutta maapallolta lähtevä säteily on Auringon säteilyä pidempiaaltoisempaa infrapunasäteilyä (IR) eli lämpösäteilyä, joka läpäisee ilmakehän huomattavasti huonommin kuin näkyvä valo. Auringon säteily ja lämpösäteily ovat sähkömagneettista säteilyä, mutta niiden aallonpituudet ovat erilaiset. Tämä johtuu siitä, että Auringon pinta on paljon Maan pintaa lämpimämpi. Maapalloa voidaan mallintaa hyvällä tarkkuudella mustana kappaleena. (Ilmastomuutos – mistä on kyse?) Myös Aurinko säteilee mustan kappaleen tavoin, eli se absorboi kaiken siihen tulevan säteilyn, ja sen säteilyspektri riippuu ainoastaan sen pintalämpötilasta, joka on noin 5800 K. Spektrin maksimiaallonpituus on kääntäen verrannollinen lämpötilaan, eli mitä lämpimämpi kappale on, sitä lyhytaaltoisempaa säteilyä se pääasiassa lähettää. (Tipler, Llewellyn 2008, s. 120-121, 125) Tästä johtuu Maan ja Auringon emittoimien säteilyjen aallonpituuksien ero.

Auringon säteilyä tulee ilmakehän ulkorajalle keskimäärin  $340 \text{ W/m}^2$ , josta 29 % heijastuu avaruuteen ilmakehästä ja maanpinnasta, ja loput 71 % eli noin  $240 \text{ W/m}^2$  imeytyvät maanpinnalle ja ilmakehään. Ilmasto hakeutuu tasapainotilaan, jossa maanpinnalle ja ilmakehään absorboituneen Auringon säteilyn määrä ja avaruuteen karkaavan lämpösäteilyn määrä ovat yhtä suuria. (Lindsey 2009). Näin ollen tasapainon vallitessa avaruuteen täytyy lähteä noin  $240 \text{ W/m}^2$  säteilyä. Mustan kappaleen säteilylain avulla voidaan laskea maapallon keskimääräinen pintalämpötila olettaen, että ilmakehää ei olisi ollenkaan ja pinnan lämpösäteily pääsisi suoraan avaruuteen. Keskimääräiseksi lämpötilaksi saadaan tällöin  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ , vaikka todellisuudessa maapallon pinnan keskilämpötila on noin  $+14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ero johtuu ilmakehän aiheuttamasta luonnollisesta kasvihuoneilmiöstä,

joka tarkoittaa sitä, että kaikki maapallon pinnalta lähtevä säteily ei karkaa suoraan avaruuteen. (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?)

Kuvassa 1 on esitetty malli säteilyn kulusta ja kasvihuoneilmiöstä. Keltaisella kuvataan Auringosta tulevaa säteilyä ja punaisella maanpinnalta ja ilmakehästä lähtevää lämpöä. Maanpinnalle absorboitunut Auringon säteily poistuu lämpönä ilmakehään haihtumisen ja kulkeutumisen kautta sekä lisäksi maanpinnan emittoimana infrapunasäteilynä, josta vain osa pääsee suoraan avaruuteen. Loput maanpinnalta lähteneestä säteilystä absorboituu ilmakehään, joka emittoi lämpösäteilyä sekä ylös- että alaspäin eli myös maanpintaa kohti. Näin ollen maanpintaa lämmittää Auringon säteilyn lisäksi myös ilmakehän emittoima lämpösäteily, joka vastaa maanpinnalla 100 %:a tulevan Auringon säteilyn energiasta. Vaikka vain pieni osa maanpinnalta lähteneestä säteilystä pääsee suoraan avaruuteen, niin kokonaisuudessaan ilmakehän ja maanpinnan emittoimasta nettomääräisestä lämpösäteilystä 71 % pääsee avaruuteen, kuten tasapainon vallitessa kuuluukin tapahtua. (Lindsey 2009)



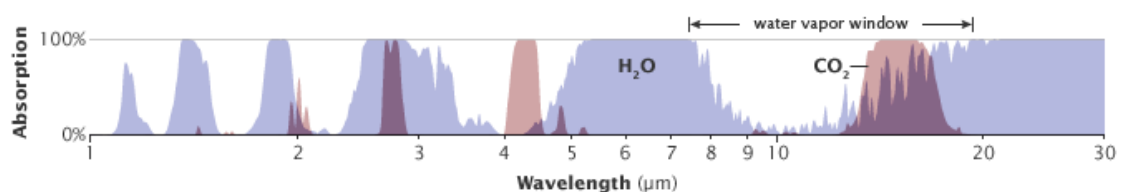
**Kuva 1.** Malli säteilyn kulusta ja kasvihuoneilmiöstä. (Lindsey 2009)

Matemaattisesti kasvihuoneilmiötä perustellaan harmaan ilmakehän mallilla, jossa Maa toimii mustana kappaleena ja ilmakehä harmaana kappaleena, jonka emissiokyky on nollan ja yhden välillä. Mallin avulla voidaan päätellä, että ilmakehän kasvihuonevaikutus on sitä voimakkaampi, mitä suurempia ovat ilmakehän absorptiokyky sekä pinnan ja il-

makehän välinen lämpötilaero. Nämä riippuvat muun muassa kasvihuonekaasujen määrästä. (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?) Jotkin ilmakehän kaasut pystyvät absorboimaan IR-säteilyä fotoneina, mikä aiheuttaa kaasumolekyylien värähtelyä. Molekyylien absorboima säteilyenergia nostaa siis ilmakehän lämpötilaa. (Ratinen 2008)

Ilmakehän kaasuista noin 99 % on samaytimisiä kaksiatomista tyyppiä ( $N_2$ ) ja happea ( $O_2$ ), jotka eivät pysty absorboimaan infrapunasäteilyä (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?). Molekyylin absorptiokykyyn vaikuttaa sen rakenne. Kun molekyyli absorboi infrapunasäteilyä, säteilyn energia menee molekyylin rotaatio- tai vibraatioenergiaksi. Molekyylien pyörimisenergiat ovat kvantittuneet, eli molekyylillä voi olla vain tiettyjä rotaatioenergiatiloja. Molekyylit, jotka ovat pysyvästi polaarisia, voivat absorboida sähkömagneettista säteilyä rotaatiotilojen välisinä energioina, jolloin molekyyli siirtyy korkeammalle rotaatioenergiatilalle. Näin ollen esimerkiksi vesimolekyylillä ( $H_2O$ ) on puhdas rotaatio-spektri, kun taas poolittomat typpi ja happi eivät voi muodostaa rotaatio-spektriä. Rotaatiosiirtymät sijaitsevat yleensä mikroaaltoalueella, eli absorboitunut säteily on hieman infrapunasäteilyä pidempiaaltoista. (Shriver, Atkins 1999, s. 500–504)

Myös molekyylien vibraatio- eli värähdysenergiatilat ovat kvantittuneet. Moniatomisilla molekyyleillä on useita värähdystyyppejä eli perusvärähdystiloja, jotka voivat virittyä ilman, että muut perusvärähdystilat virittyvät. Esimerkiksi vesimolekyylillä on kolme perusvärähdystilaa. Kaikkien värähdystyyppien ei ole kuitenkaan mahdollista virittyä infrapunasäteilyn vaikutuksesta: vain ne värähdykset, joissa molekyylin dipolimomentti muuttuu, voivat virittyä. Näin ollen vesimolekyylin kolmesta perusvärähdystilasta voi virittyä kaksi, kun taas samanytimisten typpi- ja happimolekyylien vibraatiotilat eivät voi virittyä, koska niiden dipolimomentit pysyvät nollassa. Vaikka hiilidioksidi ( $CO_2$ ) on pooliton molekyyli, pystyy sen neljästä perusvärähdystilasta virittymään kolme dipolimomentin muuttuessa. Vibraatioenergiatilojen siirtymät vastaavat infrapunasäteilyn energiaa, eli värähdystilojen virittymiseen tarvitaan enemmän energiaa kuin rotaatiotilojen virittymiseen. (Shriver, Atkins 1999, s. 512–523) Kuvassa 2 on esitetty veden ja hiilidioksidin absorptiokaistat aallonpituuden funktiona välillä 1–30  $\mu m$ . Kuvasta nähdään, että erityisesti vesihöyry absorboi tehokkaasti infrapunasäteilyä eri aallonpituuksilla. Ilmakehän kaasut, jotka pystyvät absorboimaan infrapunasäteilyä, ovat kasvihuonekaasuja.

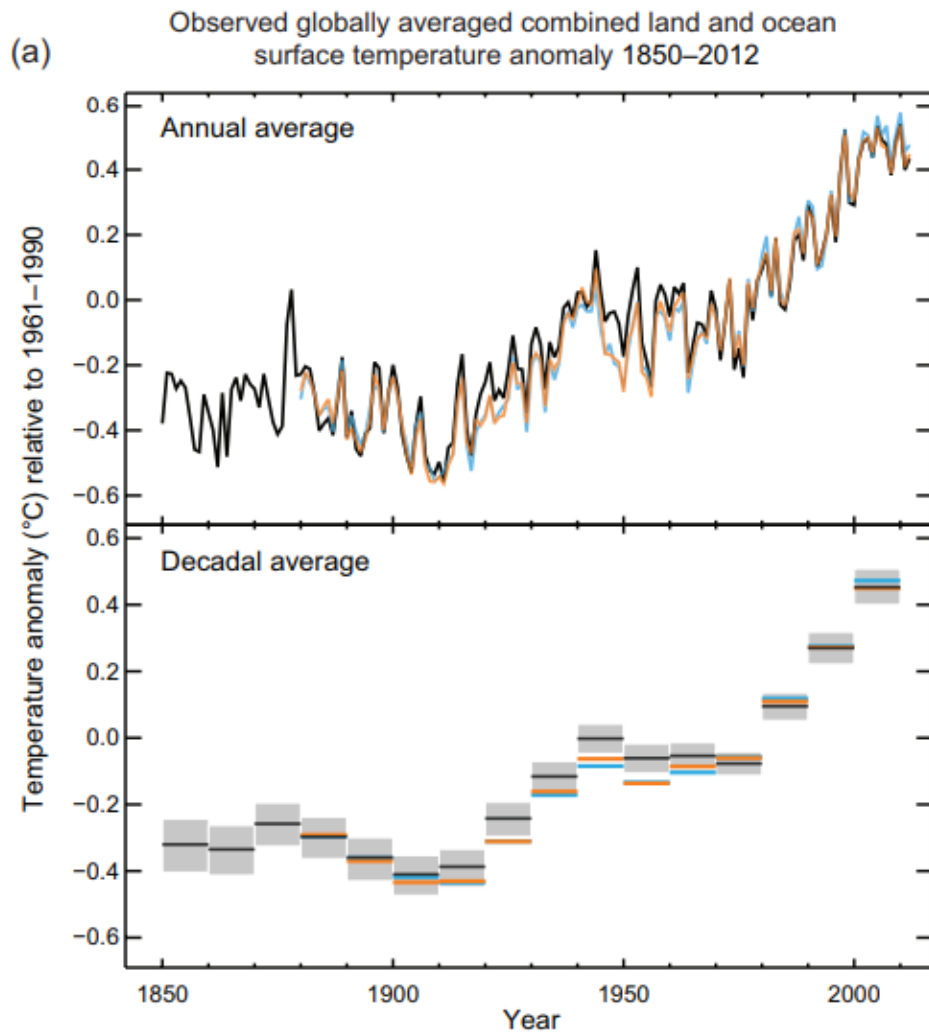


**Kuva 2.** Vesihöyryn ja hiilidioksidin absorptiokaistat aallonpituuden funktiona. (Lindsey 2009)

Tärkein kasvihuonekaasu on vesihöyry, ja se aiheuttaa luonnollisen kasvihuoneilmiön lämmittävistä vaikutuksesta noin 60 %. Sen määrä ilmakehässä vaihtelee, mutta keskimäärin sen tilavuusosuus ilmakehän kaasuista on noin 0,4 %. Hiilidioksidi on toiseksi tärkein kasvihuonekaasu aiheuttaen noin 25 % luonnollisen kasvihuoneilmiön lämmittävistä vaikutuksesta, vaikka sen tilavuusosuus ilmakehän kaasuista on vain noin 0,04 %. (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?) Hiilidioksidin merkitystä kasvihuonekaasuna lisää se, että se pystyy absorboimaan joitain sellaisia aallonpituuksia, joita vesihöyry ei absorboi (Lindsey 2009), kuten kuvasta 2 nähdään. Muita luonnollista kasvihuoneilmiötä aiheuttavia kaasuja ovat metaani ( $\text{CH}_4$ ), ilokaasu eli dityppioksidi tai typpioksiduuli ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ja otsoni ( $\text{O}_3$ ), joiden pitoisuudet ilmakehässä ovat paljon hiilidioksidinkin pitoisuutta pienemmät. Näiden kaasujen lisäksi ihmistoiminnan seurauksena ilmakehään on muodostunut myös muita kasvihuonekaasuja, kuten halogenoituja hiilivetyjä. (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?) Esimerkiksi freonit eli CFC-yhdisteet (chlorofluorocarbon) ovat täysin ihmisen aiheuttamia kaasuja, joiden pitoisuudet ilmakehässä on kuitenkin saatu jo laskuun. Halogenoitujen hiilivetyjen määrät ilmakehässä ovat pieniä, mutta osa niistä on hyvin voimakkaita kasvihuonekaasuja, jolloin pienikin määrä yhdistettävä aiheuttaa merkittävän kasvihuonevaikutuksen. Samoin metaani ja ilokaasu ovat paljon voimakkaampia kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidi. (IPCC 2007, s. 28, 33)

## 2.2 Kasvihuoneilmiön voimistuminen ja ilmastonmuutos

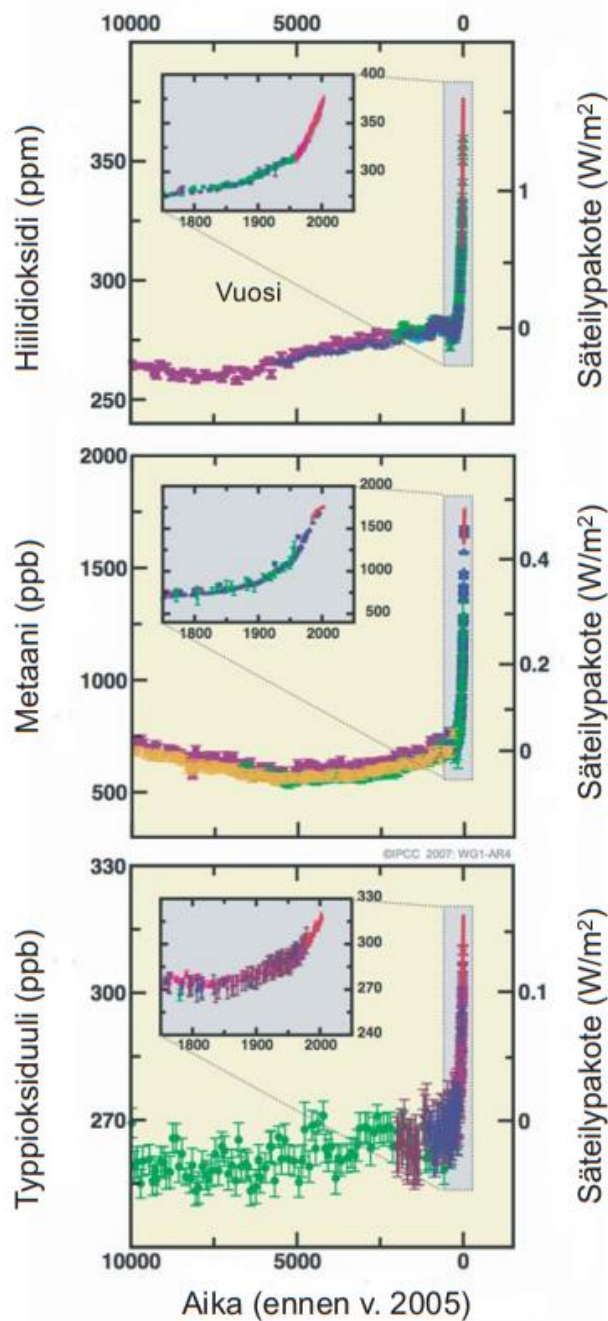
Kasvihuoneilmiö on vaikuttanut maapallon ilmastoon jo miljardien vuosien ajan. Ihmiskunnan synnyttämien päästöjen seurauksena hiilidioksidin ja monien muidenkin kasvihuonekaasujen pitoisuudet kasvavat voimakkaasti, minkä takia kasvihuoneilmiö voimistuu ja ilmasto lämpenee. (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?) Tarkasteltaessa pitkää aikaväliä maailmanlaajuinen ilmaston lämpeneminen on havaittavissa selvästi. Maapallon ilmasto on lämmennyt melkein asteen verran 1800-luvun lopun jälkeen. (Mittaukset kertovat ilmaston muuttuvan) Kuvasta 3 nähdään, että maapallon lämpötilan vuosittaiset keskiarvot vaihtelevat jatkuvasti, mutta kymmenien vuosien kuluessa keskilämpötila kasvaa selvästi. Ilmasto on vaihdellut maapallolla aina, ja jääkausien aikana keskilämpötilat ovat olleet useita asteita nykyistä alhaisempia. Tällä hetkellä ilmaston pitäisi luonnollisen kulun mukaan olla hitaasti viilentymässä, mutta ihmisen takia ilmasto kuitenkin lämpenee. (Maapallon ilmastohistoria) Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa vakavia seurauksia maapallolla, kuten muutoksia sateissa, valtamerten pinnan nousua ja jäätiköiden sulamista (Mittaukset kertovat ilmaston muuttuvan).



**Kuva 3.** Maapallon keskilämpötilan havaittu muutos vuosina 1850–2012 poikkeamana jakson 1961–1990 keskiarvosta. (IPCC 2013, s. 6)

Hiilidioksidin, metaanin ja dityppioksidin pitoisuudet ovat nousseet ennätysellisen korkealle ainakin 800 000 vuoteen (IPCC 2013, s. 11). Kuvasta 4 nähdään näiden kaasujen pitoisuuksien muutokset 10 000 vuoden ajalta, ja viimeisten vuosikymmenien aikana tapahtunut muutos on havaittavissa selvästi. Hiilidioksidin määrä on noussut 40 % esiteolliselta ajalta, mikä johtuu pääasiassa fossiilisten polttoaineiden päästöistä sekä lisäksi maan käytön muutoksista (IPCC 2013, s. 11). Fossiilisten polttoaineiden käytön takia ilmakehään vapautuu hiiltä, joka on ollut miljoonia vuosia varastoituneena maapallon litosfääriin eli kivikehään. Hiilen kierto litosfääriin ja ilmakehän välillä on luonnollisesti hyvin hidasta ja pysyy tasapainossa, mutta ihmisen vaikutuksesta litosfääristä vapautuu ilmakehään hiiltä moninkertaisesti enemmän kuin litosfääri sitoo ilmakehästä. Lisäksi maan käytön muutokset eli pääasiassa metsien hävittäminen vapauttavat hiiltä ilmakehään biosfääriin varastosta. Metsät ovat merkittäviä hiilinieluja, ja niiden hävittäminen vähentää hiilen sitoutumista ilmakehästä biosfääriin. (Ilmastojärjestelmän toiminta) Ihmisen

tuottamista kasvihuonekaasuista hiilidioksidi on selvästi merkittävin (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?). Suomessa hiilidioksidipäästöjä tulee eniten energiateollisuudesta, ja seuraavaksi eniten liikenteestä sekä teollisuudesta ja rakentamisesta. Lisäksi merkittävästi hiilidioksidipäästöjä aiheutuu maataloudesta, rakennusten lämmityksestä, teollisuusprosesseista ja jätteiden käsittelystä. (Forsell 2012)



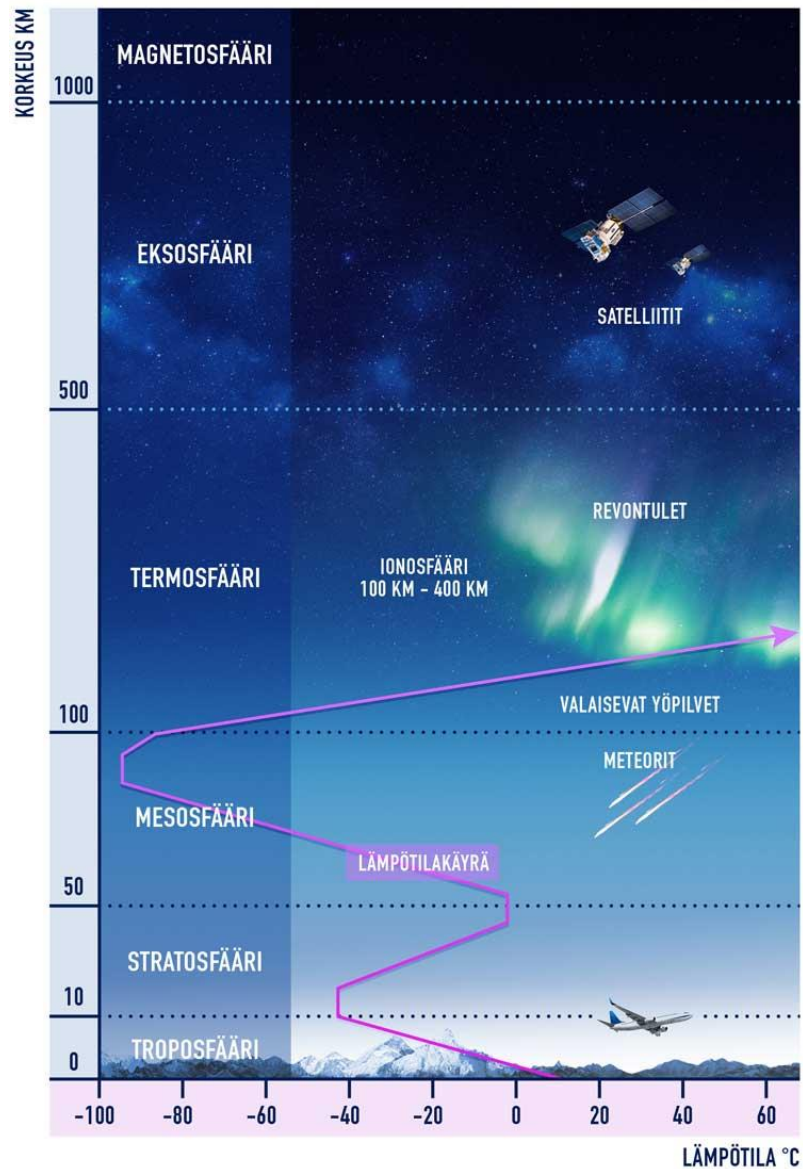
**Kuva 4.** Hiilidioksidin, metaanin ja dityppioksidin pitoisuuksien muutos ilmakehässä viimeisen 10 000 vuoden aikana ja vuodesta 1750 vuoteen 2005, sekä kaasujen aiheuttama säteilypakote. (Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli 2007)



Metaanin määrä ilmakehässä on kasvanut esiteollisesta ajasta jo 150 %. Metaania syntyy luonnossa soilla, kosteikoilla ja vesistöjen pohjakerroksissa, mutta yli 60 % maailman metaanipäästöistä on ihmisen aiheuttamia. Metaania syntyy, kun eloperäinen aine hajoaa hapettomissa oloissa, kuten esimerkiksi karjataloudessa, riisinviljelyssä ja kaatopaikoilla. Sitä muodostuu myös hiilen louhinnassa, ja sitä voi karata ilmakehään myös maakaasuputkista. Maatalous on myös dityppioksidipäästöjen merkittävä aiheuttaja. Lisäksi ilokaasua syntyy maanraivauksessa ja joissakin teollisissa prosesseissa. (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?) Ihminen on aiheuttanut noin 40 % dityppioksidipäästöistä (IPCC 2007, s. 27).

Otsoni toimii kasvihuonekaasuna alailmakehässä eli troposfäärissä, jossa sen pitoisuudet ovat lisääntyneet. Sitä muodostuu ilmakehässä muista päästöistä kemiallisten reaktioiden kautta, kun esimerkiksi typen oksidit, häkä ja hiilivedyt reagoivat hapen kanssa Auringon valossa. Yläilmakehän eli stratosfäärin otsoni sen sijaan suojaa maapalloa Auringon ultraviolettisäteilyltä (UV). (Ilmastonmuutos – mistä on kyse?) Ihmisen toiminnan seurauksena otsonikerros on heikentynyt muun muassa CFC-yhdisteiden takia, ja suurin heikkeneminen tapahtui 1980- ja 1990-luvuilla (IPCC 2007, s. 24, 28). Otsonikadon takia UV-säteilyä pääsee enemmän maapinnalle, mutta tämä ei kuitenkaan lämmitä ilmastoa (Rätinen 2008).

Kuvassa 5 on esitetty ilmakehän rakenne. Troposfääri on ilmakehän alin kerros, ja sen paksuus on noin 10 kilometriä. Suurin osa ilmakehän kaasuista sijaitsee troposfäärissä, sillä se sisältää 75–80 % ilmakehän massasta. Troposfäärin ilma sekoittuu tehokkaasti pysty- ja vaakasuunnassa, minkä johdosta pitkäikäiset kaasut ovat sekoittuneet tasaisesti. (Ilmakehän kerrokset) Suuri osa kasvihuonekaasuista on pitkäikäisiä, eli ne säilyvät ilmakehässä useita vuosia lämmittäen ilmastoa. Esimerkiksi metaani säilyy ilmakehässä noin 12 vuotta, dityppioksidi 114 vuotta ja jotkin fluoriyhdisteet jopa useita tuhansia vuosia. (IPCC 2007, s. 23–24, 33–34) Hiilidioksidille ei voida määrittää tarkkaa elinikää sen jatkuvan kierron takia (IPCC 2007, s. 24), mutta eliniän voidaan arvioida olevan noin 50-200 vuotta (IPCC 1992, s. 68). Troposfäärin yläpuolella on stratosfääri, jossa otsonikerros sijaitsee noin 15–40 kilometrin korkeudella (Ilmakehän kerrokset). Kasvihuoneilmiön voimistuminen lämmittää troposfääriä, kun taas stratosfääriin sillä on viilentävä vaikutus yhdessä otsonikerroksen ohentumisen kanssa (Mittaukset kertovat ilmaston muuttuvan).



**Kuva 5.** Ilmakehän rakenne. (Ilmakehän kerrokset)

Ihmisen aiheuttamat vesihöyrypäästöt ovat merkityksettömän pieniä kasvihuoneilmiön kannalta. Vesihöyryyn liittyy kuitenkin merkittävä palauteilmiö, sillä maapallon keskilämpötilan noustessa troposfäärin vesihöyrypitoisuus kasvaa, jolloin kasvihuoneilmiö voimistuu entisestään. (IPCC 2007, s. 28) Lämpötilan kasvaessa kyllästyshöyrinpaine kasvaa eksponentiaalisesti (Cline 1991). Veden kyllästyshöyrinpaine tarkoittaa suurinta mahdollista höyrinpainetta veden haihtuessa luonnollisesti tietyssä lämpötilassa ja ympäristön paineessa (Liu et al. 1983). Höyrinpaine kuvaa nesteen kykyä haihtua, ja mitä suurempi höyrinpaine on kyseessä, sitä haihtuvampaa neste on. (ZumdaHL, DeCoste 2012, s. 460) Näin ollen ilmakehän lämpötilan kasvaessa enemmän vettä sitoutuu ilmakehään vesihöyrynä (Cline 1991). Muiden kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvu lisää siis myös vesihöyryn määrää ilmakehässä, ja tämä palauteilmiö jopa kaksinkertaistaa

muista kasvihuonekaasuista aiheutuvan ilmaston lämpenemisen (Vesihöyry on merkittävin kasvihuonekaasu). Vesihöyryn lisääntyminen ilmakehässä ei ole ainoa ilmastomuutoksen palauteilmiö. Yleisesti palauteilmiö on ilmastomuutoksen seuraus, joka edelleen voimistaa tai hillitsee ilmastomuutosta. Palauteilmiöiden takia ilmastomuutos on monimutkaisempi ilmiö, ja sen ennustaminen on hankalaa. (Ilmastojärjestelmän toiminta)

Kasvihuonekaasujen lisäksi myös aerosolit vaikuttavat ilmastoon. Aerosoli tarkoittaa kaasun ja kiinteiden tai nestemäisten hiukkasten muodostamaa kokonaisuutta, kuten savua, sumua tai pilviä. Hiukkasten koko aerosoleissa vaihtelee muutamista nanometreistä satoihin mikrometreihin. (Hinds 1999, s. 1, 3–4) Suurin osa aerosoleista vaikuttaa ilmastoon viilentävästi sirottamalla Auringon valoa tehokkaasti, mutta toisaalta tummat nokihiukkaset absorboivat valoa ja vaikuttavat näin ollen lämmittävästi. Pilvet ovat merkittävä ilmastoon vaikuttava tekijä. Vesihöyryn tiivistyminen tarvitsee ulkoisen tiivistymisytimen, joten pienhiukkaset ovat välttämättömiä pilvien muodostumisen kannalta, ja ne vaikuttavat pilvien ominaisuuksiin. (Ilmastojärjestelmän toiminta) Pilvien pienet vesipisarat ja jääkiteet absorboivat lämpösäteilyä, mutta ne myös heijastavat Auringosta tulevaa säteilyä avaruuteen. (Ilmastomuutos – mistä on kyse?) Pilvistä myös heijastuu lämpösäteilyä takaisin maahan. Ilmakehän alaosassa sijaitsevat pilvet heijastavat voimakkaasti Auringon säteilyä, joten ne viilentävät ilmastoa, kun taas stratosfääriin ohuet pilvet pääasiassa heijastavat Maan lämpösäteilyä takaisin ja näin ollen lämmittävät ilmastoa. Kokonaisuudessaan pilvien vaikutus ilmastoon on kuitenkin jäähdyttävä, kuten myös aerosolien vaikutukset yleisesti. (Ilmastojärjestelmän toiminta)

Kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmakehässä lisää Maasta lähtevän säteilyn absorboitumista ilmakehään, kun taas aerosolien lisääntyminen vaikuttaa Auringosta tulevan säteilyn heijastumiseen ja absorboitumiseen. Muutoksia tulevassa tai lähtevässä säteilyssä kuvataan suureella säteilypakote, joka kertoo tietyn tekijän tärkeyden ilmastomuutoksen aiheuttajana. Positiivinen säteilypakote pyrkii lämmittämään maapallon ilmastoa, ja negatiivinen säteilypakote aiheuttaa viilentävän vaikutuksen. Säteilypakotteen yksikkönä käytetään wattia neliömetriä kohti ( $W/m^2$ ). (IPCC 2007, s. 21) Esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistaminen ilmakehässä aiheuttaisi positiivisen säteilypakotteen, kun taas alailmakehän pilvien lisääntyminen aiheuttaisi negatiivisen säteilypakotteen (Ilmastojärjestelmän toiminta). Kuvassa 4 on esitetty oikeanpuoleisella akselilla kasvihuonekaasujen aiheuttamat säteilypakotteet verrattuna esiteolliseen aikaan, ja kuvasta nähdään hiilidioksidipitoisuuden kasvun aiheuttaneen reilusti suuremman säteilypakotteen kuin metaani tai dityppioksidi. Hiilidioksidipäästöt ovatkin suurin ihmisistä

johtuva säteilypakotteen aiheuttaja (Ilmastojärjestelmän toiminta). Kasvihuonekaasupäästöjen ja aerosolien lisäksi säteilypakotteeseen vaikuttavat muun muassa metsien kaataminen lisäämällä maan pinnan heijastavuutta sekä nokipäästöt arktisilla alueilla vähentämällä lumen heijastavuutta. (Ilmastojärjestelmän toiminta) Myös pääasiassa auringonpilkuista johtuvat Auringon säteilytehon muutokset vaikuttavat jossain määrin säteilypakotteeseen. Arviot säteilytehon muutoksista ovat epätarkkoja, mutta niiden arvioidaan olevan kuitenkin kertaluokkaa pienempiä kuin ihmisistä aiheutuva kokonaissäteilypakote. (IPCC 2007, s. 30–31)

## 2.3 Kasvihuoneilmiön tutkimisen historiaa

Vaikka ihmisen aiheuttama voimistunut kasvihuoneilmiö on ollut merkittävää vasta 1900-luvulta lähtien, säteilyn energiansiirron vaikutuksia havaittiin ja kuvailtiin jo 1800-luvulla. Lämpö ja valo tunnistettiin samanlaiseksi sähkömagneettiseksi säteilyksi jo vuonna 1800. Teoreettinen ymmärrys kaasujen ja säteilyn vuorovaikutuksesta kehittyi kuitenkin vasta 1900-luvun alussa kvanttiteorian kehittymisen myötä. 1800-luvulla havaittiin tiettyjen kaasujen absorboivan lämpösäteilyä, minkä seurauksena tunnistettiin, että ihmiskunta voi toimillaan vaikuttaa suuresti maapallon säteilytasapainoon. Hiilidioksidi oli ensimmäinen kaasu, jonka vaikutus ilmastoon havaittiin. (Jones, Henderson-Sellers 1990)

Aluksi kasvihuoneilmiöön liittyvä tutkimus keskittyi hiilidioksidin merkityksen ymmärtämiseen suhteessa ilmakehän prosesseihin ja säteilyn siirtymiseen. 1800-luvulla ja 1900-luvun alussa pyrittiin ymmärtämään syklistä jääkausiteoriaa ja hiilidioksidipitoisuuksien vaikutusta siihen. (Jones, Henderson-Sellers 1990) Nykyisen tietämyksen mukaan jääkaudet muodostuvat silloin, kun maapallon pohjoisen puolen korkeat leveysasteet saavat vähän Auringon säteilyä kesällä. Säteilyn jakautumiseen vaikuttavat maapallon akselin kallistuskulma ja maan kiertoradan muoto Auringon ympäri. Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien vaihtelut eivät ole jääkausien pohjimmaisena syynä, vaan kasvihuonekaasujen määrät muuttuvat ilmaston lämpötilan muuttumisen mukana voimistaen lämpötilan muutosta. Jääkausien aikana ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet ovat olleet pienempiä kuin lämpiminä ajanjaksoina. (Maapallon ilmastohistoria) Kasvihuonekaasujen pitoisuuksia tuhansia vuosia sitten voidaan arvioida jäätikkökairauksista saatavien tietojen avulla, ja tietojen perusteella voidaan muodostaa kuvaa maapallon ilmastovaihteluista (Hallitusten välinen ilmastomuutospaneeli (IPCC) 2007).

Ranskalainen fyysikko Jean Baptiste Joseph Fourier (1768–1830) viittasi kasvihuoneilmiöön vuonna 1827 luultavasti ensimmäisenä henkilönä vertaamalla ilmakehän ja kas-

vihuoneen lasin vaikutusta. Hänen katsotaan myös esittäneen idean siitä, että ihmiskunta voisi toimillaan vaikuttaa ilmastoon. John Tyndall (1820–1893) analysoi Englannissa vuonna 1861 julkaistussa tutkimuksessaan ilmakehän kaasuista pääasiassa vesihöyryn ja hiilidioksidin säteily- ja absorptio-ominaisuuksia, ja hänen tutkimuksensa oli ensimmäisiä, joissa yritettiin laskea infrapunasäteilyn vuota ilmakehässä. Amerikkalainen Samuel Pierpont Langley (1834–1906) ymmärsi ilmakehän kaasujen absorptio-ominaisuudet ja kaasujen vaikutukset maapallon pintalämpötilaan. Hän esitti vuoden 1884 teoksessaan, että ilman ilmakehää maapallon lämpötila olisi noin  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Väite oli periaatteessa oikein, mutta ilmakehän vaikutus oli yliarvioitu. (Jones, Henderson-Sellers 1990)

Vuonna 1909 yhdysvaltalainen fyysikko Robert Williams Wood (1868–1955) sai selville, että kasvihuoneet säilyttävät lämpöä eri mekanismilla kuin ilmakehä, eli kasvihuoneilmionä tunnettu ilmiö ei toimikaan kuten kasvihuone. Wood esitti, että lämpö pysyy kasvihuoneissa pääasiassa siksi, että lämmin ilma ei pääse kulkeutumaan pois. Myöhemmissä tutkimuksissa onkin saatu selville, että kasvihuoneen lasin absorboiman ja takaisin emittoivan lämpösäteilyn lämmittävä vaikutus kasvihuoneelle on alle 20 %. Harhaanjohtavaa nimitystä ”kasvihuoneilmiö” alettiin käyttää myös opetuksessa 1960-luvun alusta lähtien, ja pian termi vakiintui yleiseen käyttöön. (Jones, Henderson-Sellers 1990) Tutkimuksissa on saatu selville, että ilmakehän kasvihuoneilmiö sekoitetaan edelleenkin oikean kasvihuoneen toimintaan (mm. Ratinen 2008, Shepardson et al. 2011). Jälkikäteen voidaankin pohtia, onko maapalloa lämmittävälle ilmiölle annettu sopiva nimitys, vai aiheuttaako se enemmän vääriä käsityksiä.

Vuonna 1895 ruotsalainen Svante Arrhenius (1859–1927) esitti tutkimuksen, jossa hän selvitti hiilidioksidin vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Hänen laskelmiensa mukaan hiilidioksidin kaksinkertaistaminen ilmakehässä aiheuttaisi maapallon keskilämpötilan nousua  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , joka ei ole hyvin kaukana nykyisistä arvioista. Arrheniuksen mukaan edelliset jääkaudet olisivat voineet johtua suurelta osin ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksien laskusta. Vuonna 1903 hän osoitti ymmärtävänsä myös hiilen kiertoa ehdottaessaan, että osa ihmisen aiheuttamasta ylimääräisestä hiilidioksidista on voinut siirtyä valtameriin. (Jones, Henderson-Sellers 1990)

Guy Stewart Callendar (1898–1964) arvioi vuonna 1938, että vuosina 1890–1938 noin 150 miljoonaa tonnia hiilidioksidia oli päästetty ilmakehään ihmisen toimesta, ja tästä määrästä 75 % oli jäänyt ilmakehään. Hänen mukaansa muiden tekijöiden pysyessä tasapainossa ihmistoiminta aiheuttaisi keskilämpötilan nousua  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  vuosisadassa, mikä oli varsin hyvä ennuste. Kun alettiin ymmärtää ihmisen toiminnan vaikutusta ilmakehän hiilidioksidin määrään ja ilmastonmuutokseen, alettiin siirtyä pois aiemmin tutkimuksen

kohteena olleesta ilmastomuutoksen jääkausi-teoriasta. (Jones, Henderson-Sellers 1990)

1950-luvulla kasvihuoneilmiön teoriaa kehitettiin uudelle tasolle. Tutkittiin, kuinka paljon maapallon keskilämpötila nousee, kun ilmakehän hiilidioksidin määrä kaksinkertaistetaan. Eri tutkijat saivat erilaisia tuloksia. Ilmakehän hiilidioksidin määrän puolittuessa lämpötilan arvioitiin laskevan erään tutkimukseen mukaan 3,8 °C, kun taas toisen tutkimuksen mukaan 1,8 °C. Vuonna 1963 saksalainen Fritz Möller (1906–1983) kehitti ensimmäisen yksinkertaisen ilmakehämallin. Hän vakioi suhteellisen kosteuden ja pilvisyyden ja sai tulokseksi, että hiilidioksidin kaksinkertaistaminen aiheuttaisi 1,5 °C lämpötilan nousun. Eri tutkijat saivat erilaisilla malleilla edelleen vaihtelevia ennustuksia lämpötilan nousulle. (Jones, Henderson-Sellers 1990)

Merkittävä edistys lämpötilan muutoksen arvioinnissa ja hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistamisessa oli vuonna 1975 Syukuro Manaben (1931–) ja Richard T. Wetheraldin (1936–2011) kehittämä kolmiulotteinen globaali ilmastomalli. Sen yksinkertaistuksista huolimatta sillä pystyttiin kuvaamaan lämpötilojen jakautumista ilmakehässä hiilidioksidipitoisuuden kasvun myötä. Malli ennusti oikein, että samaan aikaan kun troposfäärin lämpötila nousee, niin stratosfäärin lämpötila laskee. Ensimmäistä kertaa malli myös osoitti veden kiertokulun vahvistavan lämmittävää vaikutusta. (Jones, Henderson-Sellers 1990)

Vuonna 1981 James Hansen (1941–) tutki ryhmänsä kanssa ilmastomallin herkkyyteen vaikuttavia prosesseja Goddard Institute of Space Studies -tutkimuskeskuksessa. Tutkimuksessa saatiin selville eri palautemekanismin, erityisesti pilvien ja vesihöyryn vaikutuksia, sekä siinä pääteltiin, että 1900-luvun loppuun mennessä ihmisen aiheuttama ilmaston lämpeneminen on havaittavissa selvästi ilmaston luonnollisesta vaihtelusta. Veerabhadran Ramanathan (1944–) ryhmineen lisäsi ilmakehän vesihöyryn takaisinkytkentämekanismien merkitystä vuonna 1983. He esittivät myös, että ilmakehän prosessien mallinnuksessa on pilvien lisäksi merkittävää pilvien tyyppi ja säteilyominaisuudet. (Jones, Henderson-Sellers 1990)

Mallit kehittyivät tietokoneteknologian kehittymisen myötä. Hansenin ja hänen ryhmänsä vuoden 1988 tutkimuksen ansiosta havaittiin hiilidioksidin lisäksi muiden säteilylle aktiivisten kaasujen merkitys kasvihuoneilmiössä. Vesihöyryn, metaanin ja dityppioksidin lisäksi tunnistettiin myös CFC-yhdisteiden ja otsonin vaikutus. Hansenin ryhmä muodosti tutkimuksessa myös kolme skenaariota, joista todennäköisimmäksi ennustettiin skenario, jonka mukaan hiilidioksidipitoisuus olisi kaksinkertaistunut vuonna 2060 vuoden 1958 tasoon nähden. (Jones, Henderson-Sellers 1990)

IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) on julkaissut 1990-luvun alusta lähtien ilmastonmuutosta koskevia tieteellisiä raportteja, joissa kerrotaan ilmastonmuutoksesta eri näkökulmista sen hetken uusimpien tietojen mukaan. Vaikka ilmastonmuutoksesta ja kasvihuoneilmiöstä onkin nykyään jo hyvä käsitys, tutkimusta tehdään edelleen. IPCC:n vuoden 2013 raportissa esitellään muun muassa neljä RCP-skenaariota (the Representative Concentration Pathways), joissa on arvioitu ihmiskunnan tuottamien hiilidioksidipäästöjen muuttuvan eri tavalla. Toiveikkaimman skenaarion mukaan maapallon keskilämpötila nousisi vuoteen 2100 mennessä vain 1 °C verrattuna esiteolliseen aikaan, kun taas pahimmassa skenaariossa keskilämpötilan nousu olisi 3,7 °C. Skenaarioiden toteutuminen riippuu ihmiskunnan toiminnasta, eli käytännössä kasvihuonekaasupäästöjen määrästä, ja näin ollen ei voida vielä sanoa, mikä skenaario tulevaisuudessa toteutuu. (IPCC 2013)

### 3. KASVIHUONEILMIÖN JA ILMASTONMUUTOKSEN YMMÄRTÄMINEN

Tässä luvussa tarkastellaan kasvihuoneilmiön ja ilmastomuutoksen ymmärtämistä aiempien tutkimusten perusteella sekä tutustutaan lukion ja perusopetuksen opetussuunnitelmiin kasvihuoneilmiön ja ilmastomuutoksen näkökulmasta. Ensin pohditaan, kuinka kasvihuoneilmiö ja ilmastomuutos ymmärretään oikein, minkä jälkeen luvussa 3.1.1 tutustutaan aiempiin tutkimuksiin, niiden otoksiin ja aineistonkeruumenetelmiin. Luvussa 3.1.2 tarkastellaan oppilaiden ja opiskelijoiden virheellisiä käsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmastomuutoksesta aiempien tutkimusten pohjalta. Luvussa 3.2 kerrotaan, mitä suomalaisten lukion päättävien tulisi hallita kasvihuoneilmiöstä ja ilmastomuutoksesta opetussuunnitelmien perusteella, ja vertaillaan aiempia opetussuunnitelmia uusiin opetussuunnitelmiin koskien ilmastomuutosta ja kasvihuoneilmiötä.

#### 3.1 Käsitykset aiempien tutkimusten perusteella

Kun tarkastellaan kohderyhmän ymmärrystä kasvihuoneilmiöstä tai ilmastomuutoksesta, täytyy olla selvää, mitä ovat oikeat käsitykset ja riittävä ymmärrys. Ratisen (2008) tutkimuksessa on määritelty seitsemän prosessia, jotka hänen mielestään täytyy hallita ymmärtääkseen kasvihuoneilmiön oikein. Prosessit jakautuvat kuvailevalle tasolle, mallitasolle ja molekyyllitasolle, joista kuvaileva taso sisältää tulevan ja lähtevän säteilyn vaikutusten eroavaisuuden tiedostamisen, kasvihuonekaasujen erilaisten absorptiokykyjen tiedostamisen sekä kasvihuonekaasujen lämmittävän vaikutuksen ymmärtämisen. Mallitasolla tulisi ymmärtää Auringon säteilyn etenemisestä, mustan kappaleen säteilystä sekä säteilyn fotoniluonteesta, ja molekyyllitasolla pitäisi ymmärtää säteilyenergian muuttuminen molekyylin värähtelyksi, kun kaasut absorboivat lämpösäteilyä fotoneina.

Kriteerit oikealle ymmärrykselle kasvihuoneilmiöstä vaihtelevat. Esimerkiksi Dawsonin (2015) tutkimuksessa vastaus koskien kasvihuoneilmiötä luokitellaan oikeaksi, jos siinä mainitaan kasvihuonekaasujen lämmittävä vaikutus. Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa sen sijaan korkeimman tason ymmärrykseen kasvihuoneilmiöstä vaaditaan tulevan ja lähtevän säteilyn erilaisuuden tunnistaminen sekä mekanismin hahmottaminen niin, että tiedetään lähtevän säteilyn kulun vaikeutuvan hiilidioksidikerroksen takia. McNeillin ja Vaughnin (2012) tutkimuksessa tarkasteltaessa ilmastomuutoksen syitä erinomainen osaaminen on määritelty siten, että osaa selittää kasvihuonekaasujen mää-



rän kasvavan ilmakehässä, kuvailla kasvihuonekaasujen lähteitä, kertoa esimerkin kasvihuonekaasusta, selittää kasvihuonekaasujen varastoivan lämpöä sekä kuvailla, kuinka kasvihuonekaasut voivat muuttaa pitkän aikavälin sääolosuhteita. Eri tutkimuksissa on siis erilainen vaatimustaso oikealle tulkinnalle. Tässä työssä keskitytään kuitenkin tarkastelemaan aiempien tutkimusten kohderyhmien virheellisiä ja selvästi puutteellisia käsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmastonmuutoksesta, jotta saadaan kuva siitä, mitkä asiat yleensä hallitaan huonosti.

### **3.1.1 Tutkimusten otokset ja aineistot**

Käsityksiä ilmastonmuutoksesta ja kasvihuoneilmiöstä on tutkittu kohtalaisen paljon. Tutkimuksia on tehty erityisen paljon luokanopettajaopiskelijoille sekä lisäksi eri ikäisille opilaille ympäri maailmaa. Suomessa tehtyjä tutkimuksia peruskoululaisten käsityksistä löytyi vain kaksi (Nevanpää 2005, Laine 2015), lukioikäisistä ei yhtään sekä muutama luokanopettajaopiskelijoista tehty tutkimus (mm. Ratinen 2008). Taulukkoon 1 on koottu aiempia tutkimuksia, joissa käsitellään eri kohderyhmien käsityksiä ja ymmärrystä liittyen kasvihuoneilmiöön ja ilmastonmuutokseen. Taulukkoon on merkitty jokaisen tutkimuksen kohderyhmä, otoskoko, aineisto ja maa, jossa tutkimus on tehty.

On tutkimuksia, joissa on suoraan tutkittu, kuinka kohderyhmä käsittää kasvihuoneilmiön (mm. Groves, Pugh 1999, Ratinen 2008), ja lisäksi on paljon aihetta sivuavia tutkimuksia. Ekborg ja Areskoug (2006) esimerkiksi tutkivat, kuinka opettajaopiskelijoiden käsitykset kasvihuoneilmiöstä kehittyivät opettajankoulutusohjelman aikana. Myös useissa muissa tutkimuksissa tarkastellaan, kuinka kohderyhmän käsitykset ilmastonmuutoksesta kehittyvät aiheesta pidetyn opetusjakson aikana (mm. McNeill, Vaughn 2012, Lambert et al. 2012). Monissa tutkimuksissa tutkitaan ilmastonmuutoksen ymmärtämistä laajemmin kuin keskittyen vain voimistuvaan kasvihuoneilmiöön (mm. Shepardson et al. 2011, Laine 2015, Lin 2017). Esimerkiksi Laine (2015) selvitti nuorten tietoja ilmastonmuutoksen syistä, seurauksista ja ratkaisuista sekä heidän kokemuksiaan ilmastonmuutoksesta. Kasvihuoneilmiöön ja ilmastonmuutokseen liittyvissä tutkimuksissa on usein esillä myös otsonikerroksen heikkeneminen. Esimerkiksi Papadimitriou (2004) tutki opiskelijoiden käsityksiä ilmastonmuutoksesta, kasvihuoneilmiöstä ja otsonikerroksen heikkene- misestä.

**Taulukko 1.** Aiempia tutkimuksia kasvihuoneilmiön ja ilmastomuutoksen ymmärtämisestä.

Kohderyhmä	Otoskoko	Aineisto	Maa	Tutkimus
noin 12–14-vuotiaita (8-luokkalaiset)	37 oppilasta	haastattelu	Kiina	Lin 2017
13–14- ja 15–16-vuotiaita (7- ja 9-luokkalaiset)	89 ja 90 oppilasta	suljettu kysely, avoimet kysymykset	Suomi	Laine 2015
13–14- ja 15–16-vuotiaita (7- ja 9-luokkalaiset)	415 ja 45 oppilasta	avoimet kysymykset (7 lk.) + suljettu kysely (9 lk.)	Suomi	Nevanpää 2005
14-vuotiaita	289 oppilasta	suljettu kysely, avoimet kysymykset	Sveitsi	Reinfried et al. 2012
14–15-vuotiaita	20 oppilasta	oppilaiden keskustelut	Ruotsi	Jakobsson et al. 2009
14–15-vuotiaita	438 + 20 oppilasta	avoimet kysymykset + haastattelu	Australia	Dawson 2015
noin 14–18-vuotiaita (secondary students)	51 oppilasta	avoimet kysymykset	USA	Shepardson et al. 2011
15-vuotiaita	1142 oppilasta	suljettu kysely	Norja	Hansen 2010
15–16-vuotiaita ja 18–19-vuotiaita	201 ja 222 oppilasta	avoimet kysymykset, suljettu kysely	Ruotsi	Andersson, Wallin 2000
16–18-vuotiaita (high school students)	75 + 22 oppilasta	avoimet kysymykset, suljettu kysely + haastattelu	USA	McNeill, Vaughn 2012
Ympäristö- ja luonnontieteitä opiskelevat luokanopettaja-opiskelijat	275 opiskelijaa	avoimet kysymykset	Suomi	Ratinen 2008
Luokanopettajaopiskelijat	20 opiskelijaa	avoimet kysymykset, käsitekartat, keskustelut	Suomi	Ratinen et al. 2012
Luokanopettajaopiskelijat	275 opiskelijaa	avoimet kysymykset, suljettu kysely	Suomi	Ratinen 2011
Luonnontieteiden ja matematiikan luokanopettajaopiskelijat	47–60 opiskelijaa	avoimet kysymykset, suljettu kysely	Ruotsi	Ekborg, Areskoug 2006
Luokanopettajaopiskelijat	172 opiskelijaa	avoimet kysymykset	Kreikka	Papadimitriou 2004
Luokanopettajaopiskelijat	564 opiskelijaa	suljettu kysely	Turkki	Ocal et al. 2011
Luokanopettajaopiskelijat ja opettajat	149 osallistujaa	avoimet kysymykset, suljettu kysely	USA	Lambert et al. 2012
Korkeakouluopiskelijat	330 opiskelijaa	suljettu kysely	USA	Groves, Pugh 1999

Eri tutkimusten otoskoot vaihtelevat hyvin suuresti, kuten taulukosta 1 nähdään. Lisäksi eri tutkimuksissa on käytetty erilaisia menetelmiä aineiston hankkimiseen. Suurimmassa osassa tutkimuksia aineistona on toiminut jonkinlaiset tutkittavien kirjalliset tuotokset, mutta joissain tutkimuksissa on käytetty myös haastatteluja tai oppimistapahtumien seuraamista. Taulukossa 1 ”avoimet kysymykset” ja ”suljettu kysely” viittaavat kirjallisiin aineistoihin, ”haastattelu” suulliseen kyselyyn ja ”keskustelu” oppilaiden tai opiskelijoiden keskustelun seuraamiseen. Esimerkiksi Lin (2017) keräsi aineistonsa haastattelemalla oppilaita, kun taas Dawsonin (2015) aineisto koostui sekä 438 oppilaan vastauksista avoimiin kysymyksiin että lisäksi 20 oppilaan haastattelusta. Jakobsson et al. (2009) sen sijaan analysoivat videonauhoitettuja keskusteluja oppilaiden oppimistilanteista. Useissa tutkimuksissa on käytetty myös oikein-väärin-tyyppisiä kyselyitä joko ainoana menetelmänä aineiston keruuseen (mm. Groves, Pugh 1999, Hansen 2010) tai avointen kysymysten lisäksi (mm. Ekborg, Areskoug 2006, Lambert et al. 2012). Joidenkin kyselyiden yhteydessä vastaajia pyydettiin lisäksi piirtämään näkemyksensä kasvihuoneilmiöstä (mm. Shepardson et al. 2011).

Useassa tutkimuksessa, jossa aineisto on kerätty avointen kysymysten avulla, yhtenä kysymyksenä on ollut ”Mitä kasvihuoneilmiö tarkoittaa?”-tyyppinen kysymys (mm. Andersson, Wallin 2000, Ekborg, Areskoug 2006, Ratinen 2008, Dawson 2015). Vastaukset on luokiteltu eri tutkimuksissa eri tavoin, mutta pääasiassa muodostaen jonkinlaisia käsitekategorioita. Esimerkiksi Ratinen (2008) luokitteli opiskelijoiden käsitykset kahdeksaan eri kategoriaan, joista ilmenee opiskelijoiden pääkäsitykset ja niiden ilmenemisen määrä. Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa vastausten kategorisointi perustui kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämiseen. Vastaukset luokiteltiin kahdeksaan pääkategoriaan, ja vastauksista ilmeneviä käsityksiä havainnollistettiin viidellä kasvihuoneilmiön mekanismin mallilla heikoimmasta käsityksestä oikeaan. Ekborg ja Areskoug (2006) käyttivät hieman vastaavanlaista kategorisointia kuin Andersson ja Wallin (2000), kun taas Dawson (2015) luokitteli vastaukset oikeisiin, osittain oikeisiin, kehittymättömiin ja väriin vastauksiin.

Vaikka otoskoot ja aineistonkeruumenetelmät vaihtelevat eri tutkimusten välillä, ovat tutkimusten tulokset keskenään hyvin samankaltaisia. Ratisen (2011) tutkimuksesta käy kuitenkin ilmi, että opiskelijat voivat antaa erilaisen vaikutelman tietämyksestään riippuen kysymyksenasettelusta. Vaikka avointen kysymysten perusteella opiskelijoiden ymmärrys kasvihuoneilmiöstä oli puutteellista, he osasivat valita oikein, kun tarjolla oli vaihtoehtoja. Näin ollen erilaisilla menetelmillä voidaan saada erilaisia tuloksia siitä, kuinka

hyvin kohderyhmä käsittää ilmastomuutoksen tai kasvihuoneilmiön. Kokonaisuudessaan tutkimusten antama kuva tutkittavien virhekäsityksistä ja puutteellisista tiedoista oli kuitenkin hyvin yhtäläinen, ja näitä virhekäsityksiä tarkastellaan seuraavassa luvussa.

### 3.1.2 Virhekäsitykset

Aikaisempien tutkimusten mukaan peruskouluikäiset oppilaat sekä toisen ja korkean asteen opiskelijat ymmärtävät ilmaston lämpenemisestä ja kasvihuoneilmiöstä huonosti (mm. Andersson, Wallin 2000, Papadimitriou 2004, Lin 2017). Ilmiöihin liittyy useita virhekäsityksiä ja puutteellisia tietoja riippumatta siitä, minkä maan oppilaista tai opiskelijoista on kyse (Nevanpää 2005). Kaikki eivät esimerkiksi osaa yhdistää edes termiä kasvihuoneilmiö koskemaan ilmakehää, vaan ajattelevat kasvihuoneilmiön liittyvän pelkästään oikeaan kasvihuoneeseen (Shepardson et al. 2011). Ilmaston lämpenemisestä tiedetään kuitenkin sen verran, että useimmat oppilaat ja opiskelijat tietävät sen olevan käynnissä, vaikka eivät ymmärräkään sen tieteellistä mekanismia (Papadimitriou 2004, Lin 2017). Ilmastomuutoksen ymmärtämiseksi on tärkeää ymmärtää ero sään ja ilmaston välillä, mikä tuottaa jo monille vaikeuksia (Lambert et al. 2012, Dawson 2015). Taulukkoon 2 on koottu aiempien tutkimustulosten pohjalta oppilaiden ja opiskelijoiden virheellisiä käsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmastomuutosta.

**Taulukko 2.** *Oppilaiden ja opiskelijoiden vääriä käsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmastomuutoksesta.*

Väärä käsitys	Tutkimus (esimerkiksi)
Kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtäminen väärin tai puutteellisesti	Andersson, Wallin 2000; Papadimitriou 2004; Ratinen 2011; Shepardson et al. 2011; Ratinen et al. 2012; Reinfried et al. 2012; Dawson 2015
Kasvihuoneilmiön tai ilmastomuutoksen sekoittaminen otsonikatoon	Groves, Pugh 1999; Andersson, Wallin 2000; Nevanpää 2005; Hansen 2010; McNeill, Vaughn 2012; Laine 2015; Lin 2017
Ilmastomuutoksen yhdistäminen muihin ympäristöhaittoihin	Groves, Pugh 1999; Papadimitriou 2004; Nevanpää 2005; Ratinen 2008; Ocal et al. 2011; Ratinen 2011; Laine 2015
Luonnollisen ja voimistuvan kasvihuoneilmiön sekoittaminen	Andersson, Wallin 2000; Ekborg, Areskoug 2006; Jakobsson et al. 2009; Hansen 2010
Kasvihuonekaasuihin liittyvät virheelliset tai puutteelliset tiedot	Nevanpää 2005; Hansen 2010; Lambert et al. 2012; Dawson 2015; Laine 2015; Lin 2017
Epäloogisten asioiden yhdistäminen kasvihuoneilmiöön tai ilmastomuutokseen	Groves, Pugh 1999; Nevanpää 2005; Ratinen 2008; McNeill, Vaughn 2012; Lin 2017

Kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtäminen on useiden tutkimusten mukaan puutteellista tai virheellistä (mm. Andersson, Wallin 2000). Kun luokanopettajaopiskelijoita pyydettiin kuvailemaan kasvihuoneilmiön mekanisme, noin 40 % opiskelijoista ei osannut antaa minkäänlaista kuvausta mekanismista (Papadimitriou 2004). Myös Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa kysyttäessä, mitä kasvihuoneilmiö tarkoittaa, iso osa oppilaista ei joko vastannut ollenkaan, vastasi täysin väärin tai kuvaili vain kasvihuoneilmiön tai voimistuvan kasvihuoneilmiön syitä ja seurauksia. Sama ilmiö toistui myös Dawsonin (2015) tutkimuksessa, jonka mukaan yli puolet oppilaista antoi väärän vastauksen tai ei vastannut ollenkaan kysyttäessä kasvihuoneilmiöstä. Täysin vääränä tulkintana kasvihuoneilmiöstä esiintyy esimerkiksi sellainen, jonka mukaan kasvihuoneilmiö tarkoittaa kasvihuonekaasujen jäämistä loukkuun ilmakehään (Lambert et al. 2012, Dawson 2015).

Kasvihuoneilmiön mekanismin puutteellisessa hahmottamisessa on yleistä malli, jonka mukaan maapallolta tuleva säteily ei pääse pois tai kimpoaa takaisin ilmakehässä olevan jonkinlaisen kerroksen takia (mm. Andersson, Wallin 2000, Shepardson et al. 2011, Reinfried et al. 2012). Kerroksen ajatellaan olevan hiilidioksidia, kasvihuonekaasuja yleisesti tai jotakin muuta, kuten saasteita (Andersson, Wallin 2000, Reinfried et al. 2012). Säteilyn kulkua estävän kerroksen ajatellaan olevan nimenomaan kerros, eikä kasvihuonekaasujen ymmärretä jakautuvan ilmakehään tasaisemmin (mm. Shepardson et al. 2011). Säteilyn kulun yhteydessä käytetään usein sanaa ”kimpoaminen” heijastumisen synonyymina, eli kasvihuonekaasujen absorptio- ja emissio-ominaisuuksista tiedetään huonosti (Reinfried et al. 2012). Tähän liittyy vahvasti myös käsitys kasvihuoneilmiöstä kasvihuoneen analogiana. Kun ei ymmärretä kaasujen absorptio-ominaisuuksia, saatetaan kaasujen tai saasteiden ajatella toimivan kasvihuoneen lasin tapaisena fyysisenä esteenä lämmön karkaamiselle (Ratinen 2011).

Kasvihuoneilmiön ymmärtämistä hankaloittaa se, että Auringon ja Maan säteilyn ero tiedetään huonosti (mm. Andersson, Wallin 2000, Papadimitriou 2004, Ratinen 2011). Usein ajatellaan, että Auringosta tuleva säteily tai lämpö pääsee maapallolle, mutta ”kimptomuttuaan” maanpinnasta se ei pääsekään pois ilmakehän kerroksen takia. Kerroksen ajatellaan estävän säteilyn kulkua vain toiseen suuntaan tietämättä, että säteily on erilaista Auringosta ja Maasta. (mm. Andersson, Wallin 2000) Näin ollen ei ymmärretä mustan kappaleen säteilylakia (Ratinen 2011), joka on keskeisessä roolissa säteilyjen eron ymmärtämiseksi. Välttämättä ei edes tiedetä, että Auringosta tuleva säteily on pääosin näkyvää valoa, vaan Auringon säteilyn saatetaan ajatella olevan lähinnä IR- ja UV-säteilyä (Ratinen et al. 2012).

Lähes jokaisessa taulukon 1 tutkimuksessa on havaittu tutkittavien sekoittavan kasvi-huoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen jollain tavalla otsonikatoon. Yleinen virhekäsitys on, että ilmaston lämpeneminen johtuu otsonikerroksen heikkenemisestä. Kasvihuone-kaasujen ja saasteiden ajatellaan ohentavan otsonikerrosta, jolloin enemmän Auringon säteilyä pääsee lämmittämään Maata (mm. Andersson, Wallin 2000, Ratinen 2008, Dawson 2015). Sekoittaessaan otsonikadon ja ilmaston lämpenemisen monet ajattelevat, että ilmastomuutos aiheuttaa ihosyöpää (mm. Ocal et al. 2011, Laine 2015). Toisaalta osa ajattelee ilmaston lämpenemisen tai kasvihuoneilmiön aiheuttavan otsonikatoa (mm. McNeill, Vaughn 2012, Laine 2015), eli syy-seuraus-suhteen ajatellaan olevan toisin päin. Jotkut saattavat myös sekoittaa ilmiöt täysin ajattelemalla, että ilmastomuutos on sama asia kuin otsonikato (mm. Nevanpää 2005).

Otsonikerroksen heikkenemiseen vaikuttavia tekijöitä tutkittiin 1970-luvun alussa, ja vuonna 1974 havaittiin CFC-yhdisteiden merkittävä vaikutus otsonikerrokseen. Pian asiasta alettiin uutisoida laajasti, ja CFC-yhdisteiden käytöstä tuli yleinen huolenaihe. (Kowalok 1993) Otsonikatoa alettiin kuitenkin torjua etenkin vuoden 1987 Montrealin sopimuksen myötä, ja nykyään otsonikerros on elpymään päin (Blakemore 2016). Otsonikato oli mediassa esillä eniten vuosina 1985–1995, mutta 1990-luvun lopussa kasvihuoneilmiö ja ilmastomuutos alkoivat olla uutisaiheina. Mediakiinnostuksen vähentyessä myös oppilaiden tietämys otsonikadosta saattoi heiketä. Kun samaan aikaan alettiin puhua ilmastomuutoksesta, saattoivat ilmiöt mennä helposti sekaisin. (Hansen 2010) Tämän osoittaa Hansenin (2010) tutkimus, jonka mukaan peruskoulun päättävistä oppilaista vuonna 2005 huomattavasti suurempi osa sekoitti kasvihuoneilmiön ja otsonikadon kuin vuonna 1993 ja 1989. Myös vuonna 1999 julkaistussa tutkimuksessa yli 90 % eri alojen korkeakouluopiskelijoista ajatteli kasvihuoneilmiön johtuvan otsonikerroksen aukoista, ja melkein yhtä moni ajatteli kasvihuoneilmiön voimistumisen aiheuttavan ihosyöpää (Groves, Pugh 1999).

Voisi ajatella, että ilmastomuutoksen ja otsonikadon sekoittaminen ei olisi niin yleistä enää nykyään, kun ilmastomuutos on ollut jo pitkään suuri puheenaihe. Ilmiöiden sekoittaminen onkin vähentynyt, mutta se on edelleen merkittävä virhekäsitys. Linin (2017) tutkimuksen mukaan 27 % oppilaista ajatteli ilmaston lämpenemisen johtuvan liiasta hiilidioksidista, joka tuhoaa otsonikerrosta, ja Dawsonin (2015) tutkimuksessa sekaannusta ilmeni noin 20 %:lla oppilaista. Shepardson et al. (2011) saivat tulokseksi, että vain 8 % oppilaista sekoitti kasvihuoneilmiön ja otsonikadon, joten he ajattelivat oppilaiden tulevan tietoisemmaksi ilmaston lämpenemisen ja otsonikadon eroavaisuudesta.

Otsonikadon lisäksi ilmastomuutos yhdistetään usein muihinkin ympäristöhaittoihin, kuten happosateisiin, ydinjätteeseen, roskaamiseen tai yleisesti saastumiseen (mm. Papadimitriou 2004). Happosateet tarkoittavat ihmisen aiheuttamista päästöistä johtuvia saiteita, joiden pH on reilusti happaman puolella. Ne johtuvat pääasiassa rikkidioksidista, typpioksidista ja hiilivedyistä, jotka reagoivat ilmakehässä muun muassa veden kanssa muodostaen vahvoja happoja. Sateet ovat luonnostaankin hieman happamia etenkin ilmakehän sisältämän hiilidioksidin takia, mutta tällöin ei puhuta happosateista. (Schnabel et al. 2017) Turkkilaisista luokanopettajaopiskelijoista jopa 87 % ajatteli, että ilmaston lämpeneminen aiheuttaa happosateita (Ocal et al. 2011), ja suomalaisista luokanopettajaopiskelijoista lähes puolet yhdisti happosateet ilmastonlämpenemiseen (Ratinen 2011). Myös väitettäessä, että happosateet pahentavat kasvihuoneilmiötä noin 20 % korkeakouluopiskelijoista oli tätä mieltä (Groves, Pugh 1999). Happosateet nousivat merkittäväksi ongelmaksi ja puheenaiheeksi jo ennen otsonikatoa (Kowalok 1993), mutta tutkimuksien mukaan happosateet ovat jääneet ihmisten mieleen jonkinlaisena ympäristöhaittana, joka sekoitetaan ilmastomuutokseen.

Monet yhdistävät ydinvoiman ja radioaktiivisen jätteen ilmaston lämpenemiseen. Ydinvoima lisää ilmaston lämpenemistä huomattavan monen mielestä ainakin silloin, kun kyselyssä annetaan tällainen väite (mm. Ocal et al. 2011, Laine 2015), ja samoin radioaktiivisen jätteen ajatellaan aiheuttavan ilmaston lämpenemistä tai kasvihuoneilmiötä (mm. Groves, Pugh 1999, Laine 2015). Useassa tutkimuksessa tulee esille myös ajatukset roskaamisesta ilmastomuutoksen suorana aiheuttajana (mm. Ratinen 2008, Lin 2017). Yleisemmin ilmastomuutos yhdistetään erilaisiin saasteisiin, kuten ympäristön saasteisiin, ilmansaasteisiin ja kemikaaleihin (mm. Papadimitriou 2004). Ilmansaasteiden saatetaan ajatella absorboivan lämpösäteilyä ja aiheuttavan kasvihuoneilmiötä (Papadimitriou 2004, Reinfried et al. 2012), ja valtaosa korkeakouluopiskelijoista ajatteli, että lyijytömät polttoaineet hillitsevät kasvihuoneilmiötä (Groves, Pugh 1999). Roskaamisen, ydinvoiman ja saasteiden saatetaan myös ajatella aiheuttavan otsonikerroksen ohenemista, joka nähdään syynä ilmaston lämpenemiselle (Nevanpää 2005).

Kasvihuoneilmiöön liittyvistä virhekesityksistä luonnollisen ja voimistuvan kasvihuoneilmiön sekoittaminen on yleistä. Osa oppilaista ajattelee, että kasvihuoneilmiö johtuu ihmisen aiheuttamista päästöistä, eikä näin osaa erottaa sitä voimistuvasta kasvihuoneilmiöstä (Jakobsson et al. 2009). Myös Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa kysyttäessä, mikä on kasvihuoneilmiö, noin puolet oppilaista kuvaili vain voimistuvaa kasvihuoneilmiötä. Osa oppilaista saattaa myös puhua ainoastaan voimistuvan kasvihuoneilmiön syistä ja seurauksista, vaikka kysymys koskisi kasvihuoneilmiötä (Andersson, Wallin 2000, Ratinen 2008). Luonnollisen kasvihuoneilmiön olemassaoloa ei ymmärretä

myöskään Ekborgin ja Areskoug (2006) tutkimuksessa, jossa luokanopettajaopiskelijoista noin puolet vastasi ennen opetusjaksoa, ettei kasvihuoneilmiö olisi välttämätön elämän kannalta. Hansen (2010) sai hieman parempia tutkimustuloksia tästä, sillä hänen tutkimuksessaan vuonna 2005 jopa 75 % oppilaista tiesi kasvihuoneilmiön olevan välttämätöntä Maan elämälle. Hansenin tutkimuksen mukaan oppilaiden ymmärrys parani huomattavasti vuosista 1989 ja 1993, minkä syyksi hän arveli muun muassa paremman opetuksen ja epämuodollisen oppimisen median kautta.

Myös kasvihuonekaasuista tiedetään huonosti. Kasvihuonekaasuja ei välttämättä osata nimetä ollenkaan (Andersson, Wallin 2000), tai hiilidioksidin ajatellaan olevan ainoa kasvihuonekaasu (mm. Dawson 2015). Luokanopettajaopiskelijoistakin vain 30 % osasi nimetä hiilidioksidin kasvihuonekaasuksi ja vain harvat lisäksi muita kaasuja (Papadimitriou 2004). Nevanpään (2005) tutkimuksessa noin puolet 9-luokkalaisista valitsivat vaihtoehtoista kasvihuonekaasuksi hiilidioksidin, metaanin, typen ja rikkidioksidin, eli oikeita kasvihuonekaasuja tunnistettiin, mutta lisäksi myös väärin kaasujen ajateltiin olevan kasvihuonekaasuja. Lisäksi vain 17 prosenttia tunnisti vesihöyryn kasvihuonekaasuksi, ja Laineen (2015) tutkimuksessa tunnistaminen oli samaa suuruusluokkaa. Myös Shephardsonin et al. (2011) mukaan hiilidioksidi oli yleisin mainittu kasvihuonekaasu, ja muita kaasuja tiedettiin hyvin vähän. Kasvihuonekaasujen saatetaan ajatella olevan myös myrkyllisiä kaasuja osaamatta nimetä niitä (Dawson 2015).

Kasvihuonekaasujen lähteistä ymmärretään myös heikosti, sillä esimerkiksi norjalaisista oppilaista vain reilu puolet tiesi hiilen, kaasun ja öljyn polton voimistavan kasvihuoneilmiötä (Hansen 2010). Tutkimuksessa mainitaan toisaalta fossiilisten polttoaineiden vähäinen käyttö Norjassa, mikä voi olla osasyynä oppilaiden huonoon tietämykseen. Kuitenkin myös Kiinassa, joka on yksi isoimmista kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajista, moni oppilaista ei tiennyt, mitkä energiamuodot ovat puhtaita ja mitkä aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä (Lin 2017). Myöskään Laineen (2015) tutkimuksessa monet eivät ymmärtäneet uusiutuvien energianlähteiden vaikutuksista, ja ajatukset siitä, että ydinvoima aiheuttaa ilmastonmuutosta, osoittaa myös huonoa ymmärrystä kasvihuonekaasujen lähteistä. Lambertin et al. (2012) tutkimuksessa suurin osa opiskelijoista ei osannut kuvata hiilen kiertoon liittyviä prosesseja ollenkaan, mikä viittaa myös heikkoon tietämykseen hiilidioksidipäästöjen lähteistä. Tutkimuksen opiskelijat eivät myöskään osanneet listata kasvihuonekaasuja lisääviä tai vähentäviä toimintoja, eli ihmisen vaikutus ilmastonmuutokseen ymmärrettiin heikosti. McNeillin ja Vaughnin (2012) tutkimuksessa saatiin samankaltainen tulos.

Hiilidioksidin saatetaan ajatella aiheuttavan ilmaston lämpenemistä ilman, että ymmärretään hiilidioksidin vaikutusta ollenkaan oikein. Jotkut oppilaat ajattelevat, että kun



muun muassa teollisuudesta ja autojen pakokaasuista tulevat hiilidioksidipäästöt itsessään ovat kuumia, niin ne lämmittävät ilmastoa (Nevanpää 2005, Lin 2017). Myös muita epäloogisia asioita yhdistetään kasvihuoneilmiöön ja ilmaston lämpenemiseen. Ratisen (2008) tutkimuksessa yksittäiset opiskelijat mainitsivat jääkausien, maan magneettikentän muutoksen ja ongelmajätteiden aiheuttavan kasvihuoneilmiötä ja ilmastomuutosta. Sen sijaan suuri osa Grovesin ja Pughin (1999) tutkimuksen opiskelijoista ajatteli voimistuvan kasvihuoneilmiön tekevän vesijohtovedestä vaarallista juoda. Voimistuvan kasvihuoneilmiön ajatellaan lisäksi monien mielestä aiheuttavan enemmän maanjäristyksiä (Groves, Pugh 1999, Ocal et al. 2011), ja joidenkin mielestä ilmastomuutos aiheuttaa hengitysvaikeuksia kuten astmaa (McNeill, Vaughn 2012).

### **3.2 Kasvihuoneilmiö ja ilmastomuutos suomalaisissa opetus-suunnitelmissa**

Lukion ja perusopetuksen opetussuunnitelmien perusteet ovat määräyksiä, joita koulutuksen järjestäjän tulee noudattaa laatiessaan koulukohtaisen opetussuunnitelman. Määräyksien avulla koulutuksen on tarkoitus pysyä tasa-arvoisena ja oikeudenmukaisena kaikille. (Opetussuunnitelmien ja tutkintojen perusteet) Perusopetuksen tehtävänä on antaa yksilöille sekä kasvatusta että opetusta siten, että yksilöt saavat valmiuksia myöhempää elämää ja jatko-opintoja varten (POPS 2004, s. 14). Lukiokoulutus jatkaa perusopetuksen tehtävää antamalla laaja-alaisen yleissivistyksen ja valmiudet lukion oppimäärään perustuviin jatko-opintoihin (LOPS 2003, s. 12). Jo lukion opetussuunnitelman perusteiden (LOPS 2003, s. 14) lukiokoulutuksen tehtävissä mainitaan, että ”lukion tulee antaa valmiuksia vastata yhteiskunnan ja ympäristön haasteisiin”. Ilmastomuutos voidaan katsoa sekä yhteiskuntaan että ympäristöön liittyvänä haasteena, jota lukion päättävillä tulisi siis olla valmiuksia käsitellä.

#### **3.2.1 Vuosien 2003 ja 2004 opetussuunnitelmat**

Tässä työssä tarkastellaan kevään 2017 fysiikan ylioppilaskokeen vastauksia, joten kohderyhmänä olleet lukiolaiset ovat opiskelleet vuonna 2003 julkaistun lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaan (LOPS 2003, LOPS 2015). Samoin perusopetuksessa heillä on ollut käytössään vuoden 2004 perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet (POPS 2004, POPS 2014). Ylioppilastutkinnon tarkoituksena on selvittää opiskelijan kypsyystta sekä lukion opetussuunnitelman mukaisia tietoja, ja ylioppilaskokeeseen osallistuakseen opiskelijalla täytyy olla suoritettuna aineen pakolliset kurssit (L 26.8.2005/672, 1 §, 4 §). Fysiikasta on vain yksi pakollinen kurssi (LOPS 2003), joten

tässä työssä tarkasteltavat lukiolaiset ovat suorittaneet varmasti vain tämän kurssin. Ylioppilaskokeiden tehtävät koskevat kuitenkin sekä pakollisia että syventäviä kursseja (A 915/2005, 1 §), joita fysiikassa oli vuoden 2003 opetussuunnitelman (LOPS 2003) mukaan yhteensä kahdeksan. Todennäköisesti suuri osa vastaajista on siis suorittanut koko lukion fysiikan oppimäärän, eikä vain ensimmäistä kurssia, mutta muista oppiaineista lukion loppuvaiheessa olevilla opiskelijoilla voidaan olettaa olevan vain suurin piirtein pakollisten lukiokurssien tiedot.

Käsitettä kasvihuoneilmiö ei mainita koko lukion opetussuunnitelman perusteissa, ja sana ilmastonmuutoskin löytyy vain maantieteen kurssien kohdalta. Asioihin viitataan kuitenkin epäsuorasti useassa kohdassa. (LOPS 2003) Yksi kaikissa oppiaineissa huomioitavista aihekokonaisuuksista on kestävä kehitys, jonka päämääräksi mainitaan hyvän elämän mahdollisuuksien turvaaminen nykyisille ja tuleville sukupolville. Opiskelijan tulisi oppia tarkastelemaan ihmiskunnan vaikutuksia ympäristöön sekä analysoimaan globaaleja ympäristöuhkia, niiden syitä ja korjaustoimenpiteitä. (LOPS 2003, s. 25–27) Koska ilmastonmuutoksen katsotaan olevan niin ihmisen aiheuttama kuin globaali ympäristöuhkakin, niin ilmastonmuutosta on pitänyt käsitellä jo vuoden 2003 opetussuunnitelman voimassaoloaikana. Ilmastonmuutoksen syynä on ihmisen aiheuttama voimistuva kasvihuoneilmiö, joten myös tämän on pitänyt sisältyä lukio-opetukseen.

Lukion opetussuunnitelma (LOPS 2003, s. 148–149) mainitsee fysiikan Aine ja säteily -kurssissa keskeisiksi sisällöiksi muun muassa sähkömagneettisen säteilyn, mustan kappaleen säteilyn ja säteilyn hiukkasluonteen, eli Auringon ja Maan säteilyjen tulisi tämän kurssin pohjalta olla opiskelijoille tuttua. Lisäksi eri kurssien sisällöissä mainitaan energiavarat, energiateollisuus sekä ”säteilyn sitoutuminen ja vapautumien luonnon ja ihmisen aikaansaamissa prosesseissa” (LOPS 2003, s. 145–148). Fossiilisten polttoaineiden ja uusiutuvien energialähteiden tulisi siis olla opiskelijoille tuttua, kuten myös kasvihuoneilmiö säteilyn sitoutumista ja vapautumista koskevan sisällön perusteella. Kuitenkaan kasvihuoneilmiö tai ilmastonmuutos ei sisälly suoraan mihinkään yksittäiseen kurssiin, vaan tietojen pitäisi kertyä eri kurssien yhteydessä.

Maantieteen pakollisten kurssien keskeisissä sisällöissä mainitaan suoraan ilmastonmuutos, sekä lisäksi ilmakehän rakenne ja merkitys, energialähteet sekä kestävä teollisuuden ja energiatalouden periaatteet (LOPS 2003, s. 139–140). Näin ollen, vaikka fysiikan kursseilla ei suoraan käsiteltäisi ilmastonmuutosta, niin opiskelijoilla pitäisi olla hyvä käsitys ilmastonmuutoksesta kaikille pakollisten maantieteen kurssien ansiosta. Ilmastonmuutosta sivutaan myös biologian ympäristöekologian kurssilla kestävä tulevaisuuden näkökulmasta (LOPS 2003, s. 133). Kurssi ei kuitenkaan ole pakollinen (LOPS

2003, s. 132), joten kaikki fysiikan ylioppilaskokeeseen osallistuvat opiskelijat eivät välttämättä ole sitä opiskelleet. Kemian kurssien keskeisissä sisällöissä ei mainita mitään suoraan kasvihuoneilmiöön tai ilmastomuutokseen liittyvää, mutta kemian opetuksen tavoitteissa sanotaan kuitenkin, että opiskelijan tulisi osata hyödyntää kemian tietoja kestävä kehityksen edistämiseksi ja keskustelussa luonnosta ja ympäristöstä (LOPS 2003, s. 152–155).

Muiden oppiaineiden hallitseminen fysiikan ylioppilaskokeessa on perusteltua oppiainerajat ylittävien tavoitteiden takia. Ylioppilaskokeista määrätään, että ”reaaliaineiden kokeissa tulee olla oppiainerajat ylittäviä tehtäviä” (A 915/2005, 2 §). Lisäksi opetussuunnitelmassa (LOPS 2003, s. 24–25) mainitut aihekokonaisuudet määritellään oppiainerajat ylittäviksi opetuksen painotuksiksi, ja kestävä kehitys oli yksi tällainen aihekokonaisuus. Oppiainerajat ylittävän kokonaisuuden ja eri kurssien sisältöjen perusteella voidaan katsoa, että lukion loppuvaiheen opiskelijoilla pitäisi olla hyvä käsitys ilmastomuutoksesta ja kasvihuoneilmiöstä.

Uuden oppimiseen vaikuttaa yksilön aiemmat tiedot (LOPS 2003, s. 14). Koska lukio-opetus on jatkoa perusopetukselle, voidaan tässä yhteydessä tarkastella, mitä tietoja ilmastomuutoksesta ja kasvihuoneilmiöstä opiskelijoilla pitäisi olla jo peruskoulun jälkeen. Kasvihuoneilmiön pitäisi olla opiskelijoille tuttua jo peruskoulusta, sillä sen tunteminen on yksi 7–9 vuosiluokkien kemian päättöarvioinnin kriteereistä. Kemian keskeisissä sisällöissä mainitaan ”ilmakehän aineet ja niiden merkitys ihmiselle ja luonnon tasapainolle”. (POPS 2004, s. 196) Lisäksi voimistuvan kasvihuoneilmiön osaaminen löytyy maantiedon päättöarvioinnin kriteereistä. Tässä yhteydessä mainitaan myös otsonikato, eli molemmat ilmiöt on täytynyt käsitellä jo peruskoulussa. (POPS 2004, s. 185) Sen sijaan ilmastomuutosta ei suoraan mainita koko opetussuunnitelmassa (POPS 2004), mutta se liittyy vahvasti maantiedossa mainittuun voimistuvaan kasvihuoneilmiöön. Lisäksi ympäristön elinkelpoisuuden säilyttäminen, jonka voidaan katsoa olevan uhattuna ilmastomuutoksen takia, on mainittu jo perusopetuksen arvopohjassa (POPS 2004, s. 14)

Tutkittavilla lukiolaisilla tulisi siis olla perustiedot luonnollisesta ja voimistuvasta kasvihuoneilmiöstä jo peruskoulusta. Lukion maantieteen kurssin käsittely ilmastomuutoksesta on täytynyt vahvistaa tietämystä peruskoulusta, ja fysiikan kursseilla kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämisen on pitänyt syventyä etenkin sähkömagneettisen säteilyn ymmärtämisen osalta. Opetussuunnitelmia (LOPS 2003, POPS 2004) tarkasteltaessa kokonaisuutena fysiikan kirjoittavilla pitäisi siis olla riittävät tiedot kasvihuoneilmiöstä, mutta asioiden pilkkominen eri kurssien yhteyteen tuo epävarmuutta siihen, kuinka asioita todellisuudessa osataan yhdistää toisiinsa. Maantieteessä käsitellään ilmakehän

rakennetta ja merkitystä, mutta kasvihuoneilmiön käsittely saattaa jäädä vajavaiseksi tämän oppiaineen yhteydessä, kun mustan kappaleen säteilystäkin puhutaan vasta fysiikan viimeisessä syventävässä kurssissa.

### 3.2.2 Uudet opetussuunnitelmat

Tässä työssä tutkittavat lukiolaiset ovat opiskelleet vuosien 2003 ja 2004 opetussuunnitelmien mukaan, mutta viime vuosina on alettu ottaa käyttöön perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014 ja lukion opetussuunnitelman perusteet 2015 (POPS 2014, LOPS 2015). Käsitettä kasvihuoneilmiö ei edelleenkään mainita koko lukion opetussuunnitelmassa, eikä enää myöskään perusopetuksen opetussuunnitelmassa (POPS 2014, LOPS 2015). Tämän osalta kehitys on mennyt siis huonompaan suuntaan. Lukion opetussuunnitelmassa ilmastonmuutos mainitaan kuitenkin jo arvoperustassa, jossa mainitaan opiskelijan ymmärrys oman toimintansa merkityksestä ilmastonmuutoksen hillinnässä (LOPS 2015, s. 13). Myös aihekokonaisuus kestävästä kehityksestä on laajentunut kestävään elämäntapaan ja globaaliin vastuuseen, jossa yhden tavoitteen mukaan opiskelijan tulee tuntea ilmastonmuutokseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden merkitystä ympäristölle (LOPS 2015, s. 37).

Lukion uudessa opetussuunnitelmassa ekologiaa ja ympäristöä koskeva biologian kurssi on asetettu pakolliseksi kurssiksi solubiologiaa koskevan kurssin sijaan, toisin kuin aiemmassa opetussuunnitelmassa oli (LOPS 2003, LOPS 2015). Näin ollen hyvänä muutoksena aiempaan kaikkien kuuluu opiskella ilmastonmuutoksesta myös biologian näkökulmasta, jossa ilmastonmuutosta tarkastellaan ympäristöongelmana sen ekologisista vaikutuksista käsin (LOPS 2015, s. 142–143). Maantieteen pakollisessa kurssissa mainitaan edelleen ilmastonmuutos, vaikka maantieteen pakollisten kurssien määrä onkin pudotettu aiemmasta kahdesta yhteen (LOPS 2003, LOPS 2015). Kemian kurssien yhteydessä ei edelleenkään puhuta suoraan ilmastonmuutoksesta, mutta kolmannen kurssin keskeisiin sisältöihin on tullut uutena asiana ”kemian merkitys energiaratkaisujen ja ympäristön kannalta”, sekä viidennen kurssin sisällöissä mainitaan ”kemian merkitys kestävä tulevaisuuden rakentamisessa” (LOPS 2015, s. 159–160).

Uudessa lukion opetussuunnitelmassa fysiikan syventävien kurssien määrää on vähennetty yhdellä, mikä näkyy kurssien sisältöjen tiivistymisenä (LOPS 2003, LOPS 2015). Lämpö-kurssin keskeisenä sisältönä mainitaan ”fysiikan merkitys energiantuotannon ja kestävä tulevaisuuden rakentamisessa” (LOPS 2015, s. 154), mutta edellisessä opetussuunnitelmassa ollut ”säteilyn sitoutuminen ja vapautumien luonnon ja ihmisen aikaansaamissa prosesseissa” on poistettu uudesta opetussuunnitelmassa kokonaan (LOPS 2003, LOPS 2015). Myöskään mustan kappaleen säteilyä ei enää mainita (LOPS

2015), mikä tuo varmasti hankaluuksia Auringon ja Maan säteilyjen ymmärtämiseen. Aiemmassakin opetussuunnitelmassa ilmennyttä asioiden hajanaisuutta eri kurssien yhteyteen on havaittavissa myös uudessa opetussuunnitelmassa (LOPS 2015). Ilmastonmuutokseen liittyviä asioita käsitellään eri kurssien yhteydessä palasina, joista opiskelijoiden pitäisi pystyä muodostamaan kokonaisuus.

Myös uudessa perusopetuksen opetussuunnitelman arvoperustassa mainitaan ymmärrys ilmastonmuutoksesta ja toimiminen kestävästi (POPS 2014, s. 16). Ilmastonmuutos kuuluu jo vuosiluokkien 3–6 ympäristöopin sisältöihin, ja ilmastonmuutos ilmiönä mainitaan myös vuosiluokkien 7–9 biologian sekä maantiedon keskeisissä sisällöissä (POPS 2014, s. 381, 386). On kuitenkin huolestuttavaa, että koko opetussuunnitelma ei mainitse käsitettä kasvihuoneilmiö. Kun aiemmassa opetussuunnitelmassa kasvihuoneilmiön oppiminen kuului erityisesti kemian yhteyteen, niin uudessa opetussuunnitelmassa kemian kohdalla ei mainita mitään kasvihuoneilmiöstä tai ilmakehästä. (POPS 2015) Koska ilmastonmuutos ja kestävä kehitys mainitaan kuitenkin useissa kohdissa (POPS 2015), voidaan olettaa, että kasvihuoneilmiötä käsitellään näissä yhteyksissä. Opetussuunnitelman tulkitsijoiden varaan jää kuitenkin se, tuleeko luonnollista kasvihuoneilmiötä käsitellä ollenkaan, vai puhutaanko vain ilmastonmuutoksesta ja sen aiheuttavasta voimistuvasta kasvihuoneilmiöstä. Ilmastonmuutoksenkin parempaan ymmärrykseen auttaisi ymmärrys kasvihuoneilmiön mekanismista ja sen luonnollisuudesta verrattuna voimistuvaan kasvihuoneilmiöön. Näin ollen olisi hyvä, että myös kasvihuoneilmiöstä olisi maininta niin perusopetuksen kuin lukionkin opetussuunnitelmassa.

Kaiken kaikkiaan on hyvä, että uusissa opetussuunnitelmissa ilmastonmuutosta korostetaan enemmän kuin vanhoissa opetussuunnitelmissa, mutta myös kasvihuoneilmiöstä pitäisi olla maininta. Ilmastonmuutosta käsitellään uusien opetussuunnitelmien mukaan pääasiassa maantiedon ja biologian yhteydessä, joten fysiikan ja kemian näkökulma voi opetuksessa helposti jäädä puutteelliseksi. Erityisesti lukion fysiikan kurssien sisällöistä on karsittu kasvihuoneilmiön ymmärtämisen kannalta merkittäviä asioita pois. Asioiden hajauttaminen eri oppiaineiden yhteyteen vaikuttaa myös edelleen ongelmalliselta. Kasvihuoneilmiötä ja ilmaston lämpenemistä voisi olla hyvä käsitellä oppiainerajat ylittävinä kokonaisuuksina, jolloin ilmiöiden ymmärtäminen voisi olla helpompaa.

## 4. AINEISTO JA SEN ANALYSOINTI

Tässä luvussa kerrotaan tutkimuksen etenemisvaiheista. Aluksi määritellään tutkimuksen tavoitteet, minkä jälkeen kerrotaan tutkimuksen aineistosta ja otoksesta. Luvussa 4.3 kerrotaan tutkimusaineiston analyysimenetelmistä ja luokittelutavoista. Aineiston analysointi jaetaan tutkittavien asioiden perusteella kolmeen osaan, joiden analysointitavoista kerrotaan tarkemmin vastaavissa alaluvuissa.

### 4.1 Tutkimuksen tavoitteet

Työn tarkoituksena on tutkia, kuinka lukion päättävät fysiikan opiskelijat ymmärtävät kasvihuoneilmiön, ja mitä väärinkäsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmastonmuutoksesta heillä esiintyy. Kasvihuoneilmiön ymmärtämisestä tarkastellaan kasvihuoneilmiön mekanismin hahmottamista sekä kasvihuonekaasujen lämmittävän vaikutuksen liittämistä kasvihuoneilmiöön. Lisäksi tarkastellaan taulukon 2 mukaisia virhekäsityksiä, jotka liittyvät kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Kuinka lukion päättävät fysiikan opiskelijat ymmärtävät kasvihuoneilmiön?
2. Mitä virhekäsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä sekä kasvihuonekaasuista opiskelijoilla esiintyy?

Aiempiin tutkimuksiin (mm. Andersson, Wallin 2000) perustuen oletuksena on, että myös suomalaisten lukiolaisten tietämys on puutteellista kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Vaikka opetussuunnitelmien (LOPS 2003, POPS 2004) mukaan lukion päättävillä fysiikan opiskelijoilla pitäisi olla hyvät tiedot kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä, ei luvussa 3.2 esiintynyt havainto opetettavien asioiden jakamisesta eri kurssien yhteyteen tuo takeita siitä, että asiat olisivat välttämättä hyvin opiskelijoilla hallussa.

### 4.2 Tutkimuksen aineisto

Tutkimuksen aineistona toimii otos kevään 2017 fysiikan ylioppilaskokeen ilmastonmuutokseen liittyvän tehtävän 13 vastauksista. Ylioppilastutkinto suoritetaan Suomessa lukiokoulutuksen päätteeksi, ja siihen sisältyy vähintään neljästä eri oppiaineesta suoritettavat kokeet, joista osa on pakollisia (L 26.8.2005/672, 1 §). Fysiikka kuuluu reaaliaineisiin (A 915/2005, 1 §), ja siitä suoritettava koe on vapaaehtoinen. Ylioppilastutkintolautakunta (YTL) on vastuussa ylioppilastutkinnon järjestämisestä, ja se myös arvostelee

koesuoritukset lopullisesti. Jokainen tehtävä arvostellaan lautakunnassa sovittujen arvostelukriteerien mukaan. (Ylioppilastutkintolautakunta) Näin ollen tehtävien pisteytyksien pitäisi olla vertailukelpoisia, toisin kuin jos jokaisen koulun oma aineenopettaja tekisi arvostelut.

Kevään 2017 fysiikan ylioppilaskokeessa oli 13 tehtävää, joista ohjeiden mukaan sai vastata kahdeksaan tehtävään. Tehtävistä 1–11 pystyi saamaan 0–6 pistettä, mutta tehtävät 12 ja 13 oli luokiteltu muita vaativammiksi jokeritehtäviksi, joista pystyi saamaan 0–9 pistettä. Tehtävä 13 jakautui a–d-kohtiin, joista c-kohdan enimmäispistemäärä oli 3 pistettä ja muiden 2. (Abitreenit) Tehtävän kysymykset olivat:

- a) *Mitä tarkoittaa maapallon ilmastoon liittyvä termi kasvihuoneilmiö?*
- b) *Miten ilmakehän vesihöyry vaikuttaa ilmastoon?*
- c) *Ilmakehässä on luonnostaan hiilidioksidia. Ihmisen toiminnassa syntyy hiilidioksidia esimerkiksi käytettäessä hiiliperäisiä polttoaineita. Mistä johtuu, että ilmakehän lisääntynyt hiilidioksidipitoisuus muuttaa ilmastoa?*
- d) *Ilmastonmuutoksessa keskilämpötilan ennustetaan nousevan erityisesti napa-alueilla. Miten mannerjäätiköiden ja napa-alueiden merijäätiköiden sulaminen voi kiihdyttää lämpötilan nousua? (Abitreenit)*

Tämän tutkimuksen kannalta on oleellista erityisesti a-kohdan kysymys, sillä yhtenä pää-tarkoituksena on saada selvillä, kuinka opiskelijat käsittävät kasvihuoneilmiön.

Fysiikan kokeeseen osallistui yhteensä 5991 kokeilasta, joista 74 % vastasi tehtävään 13. Voidaan siis katsoa, että tehtävä 13 oli varsin suosittu tehtävä. Osaaminen tehtävässä oli kuitenkin varsin heikkoa, sillä vastausten pistekeskiarvo oli 2,4 pistettä, kun enimmäismäärä oli 9. 1 tai 2 pistettä olivat yleisimmät annetut pisteet, ja yli viiden pisteen vastauksia oli erittäin vähän. (YTL) Tämä antaa siis jo kuvaa siitä, että lukion päättävät fysiikan opiskelijat tietävät huonosti kasvihuoneilmiöstä ja ilmastonmuutoksesta. Opiskelijoiden heikko menestyminen tehtävässä olikin yhtenä motivaationa tämän tutkimuksen aloittamiselle.

Ylioppilastutkintolautakunta on myöntänyt aineiston käyttöön tutkimusluvan, jonka ehtona on, että opiskelijoiden tai opettajien henkilöllisyys ei paljastu. Tutkimuksen otoksena on 243 vastausta, jotka ovat 19 eri lukion opiskelijoilta. Otos on näin ollen noin 5,5 % kaikista tehtävän 13 vastauksista. Lukiot valikoituivat satunnaisesti, ja mukana on lukiota eri puolilta Suomea. Valikoituneet lukiot ovat myös eri kokoisia: pienin fysiikan kirjoittajien määrä yhdestä koulusta on 4 opiskelijaa ja suurin 52 opiskelijaa. Kouluja on

kymmenestä eri maakunnasta osallistujien määrät huomioon ottaen kohtalaisen tasaisesti. Aineistoa on eniten pääkaupunkiseudulta, ja muualta päin Suomea satunnaisemmin. Koulujen fysiikan kirjoittajien keskimääräinen vastausprosentti tehtävään 13 on 72 %, joka on hyvin lähellä kaikkien kokelaiden vastausprosenttia.

### 4.3 Aineiston analysointi ja luokittelu

Tutkimuksen alustavana analyysimenetelmänä käytettiin sisällönanalyysiiä. Se on pääasiassa aineiston kvalitatiivinen analyysimenetelmä, jossa tutkittavaa ilmiötä analysoidaan erilaisten sisällöllisten luokittelujen avulla (Seitamaa-Hakkarainen 2014). Sisällönanalyysissa kiinnostuksen kohteena ovat tekstin merkitykset, kun taas esimerkiksi diskurssianalyysissa analysoidaan, kuinka merkityksiä tuotetaan tekstissä (Tuomi, Sarajärvi 2018). Tähän tutkimukseen sisällönanalyysi sopi hyvin, sillä tarkoituksena oli saada selville opiskelijoiden tietoja kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä, jotka ilmenivät tekstin merkityksistä. Sisällönanalyysissa aineiston ei tarvitse olla strukturoitua, ja aineistona voi toimia lähes mikä tahansa kirjallinen materiaali (Tuomi, Sarajärvi 2018). Näin ollen tämän tutkimuksen ylioppilaskoevastaukset toimivat hyvin sisällönanalyysin aineistona.

Sisällönanalyysin tarkoituksena on esittää aineisto tiivistetyssä ja yleistetyssä muodossa johtopäätösten tekemisen helpottamiseksi (Tuomi, Sarajärvi 2018). Tässä tutkimuksessa aineiston koko oli melko suuri, joten sisällönanalyysi oli käytännöllinen menetelmä muodostaa aineisto selkeään ja yksiselitteiseen muotoon. Aineiston analysoinnissa etsitään käsitteellisiä samankaltaisuuksia, jotka muodostavat luokkia (Seitamaa-Hakkarainen 2014). Sisällönanalyysi auttaa aineiston kokonaisvaltaisessa hahmottamisessa, ja se päättyy usein vasta sitten, kun aineistosta ei löydy enää uusia näkökulmia. Sekä määrällinen että laadullinen tutkimusote toimivat sisällönanalyysissa, tai molempia tutkimusotteita voidaan myös käyttää toisiaan täydentävästi. Kun aineistoa on tarkoitus kvantifioida, luokittelukategorioiden tulee olla selkeitä ja yksiselitteisiä. (Seitamaa-Hakkarainen 2014) Kvantifiointin avulla muuten laadullisesta tutkimuksesta voidaan saada merkittävästi lisätietoa (Tuomi, Sarajärvi 2018). Tässä tutkimuksessa aineiston kvantifiointi oli oleellista, sillä opiskelijoilla ilmenevien käsitysten lisäksi haluttiin saada selville käsitysten ilmenemismäärät.

Sisällönanalyysi toteutettiin teoriaohjaavasti, jolloin analyysi ei perustunut ainoastaan teoriaan tai aineistoon, vaan luokittelu muodostettiin aineistosta teoriaa hyödyntäen (Tuomi, Sarajärvi 2018). Luokittelun pohjana käytettiin aikaisempaa käsitejärjestelmää ja teorian avulla muodostettiin aineistosta etsittävät asiat, mutta luokittelu muuttui analyysin edetessä. Kasvihuoneilmiöön katsottiin oleellisesti kuuluvan kasvihuonekaasut ja



kasvihuoneilmiön lämmittävä vaikutus, joten vastauksista tutkittiin näiden asioiden ilmenemistä. Lisäksi taulukossa 2 esitetyt virhekäsitykset kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä toimivat pohjana tutkimuksessa tarkasteltaville asioille, ja kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämisestä muodostettiin aiemman tutkimuksen avulla kategorisointi, jossa jokainen vastaus luokiteltiin vain yhteen kategoriaan. Analyysin edetessä erityisesti kasvihuoneilmiön mekanismin kategorisointia muutettiin paremmin aineistoa kuvaavaksi. Sisällönanalyysin jälkeen aineisto kvantifioitiin, eli luokittelujen avulla laskettiin, kuinka monen opiskelijan vastauksissa tutkittavat asiat ilmenivät (Tuomi, Sarajärvi 2018).

Aineiston luokittelussa käytettiin apuna Microsoft Excel -ohjelmaa, jossa muodostettiin taulukko kaikista otokseen kuuluvista kokelaista ja tutkittavista asioista. Ote analyysitaulukon alusta on esitetty liitteessä A. Lukiot numeroitiin 1.–19., ja lukiodien kokelaat numeroitiin juoksevasti. Näin jokaisen kokelaan vastaus oli helposti etsittävässä myös myöhemmin. Taulukon värikoodit helpottivat sarakkeiden erottamista toisistaan. Taulukko jaakaantui karkeasti kolmeen osioon: kasvihuonekaasuihin ja lämmittävään vaikutukseen, kasvihuoneilmiön mekanismiin sekä virhekäsityksiin kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Jokaisessa osiossa tarkasteltiin tarkemmin useampaa asiaa, ja osioiden tarkat analysointimenetelmät on kuvattu seuraavissa alaluvuissa. Jokainen vastaus luettiin huolellisesti läpi useita kertoja peräkkäin, jotta kaikki analysoitavat asiat tuli varmasti tarkasteltua. Excel-tilukkuoon merkittiin jokaisen kokelaan kohdalle merkintöjä siitä, oliko tarkasteltavia asioita mainittu. Opiskelijan oman opettajan ja ylioppilastutkintolautakunnan sensorin antamat pisteet olivat vastauksissa näkyvissä, ja pisteiden avulla vastauksen tasosta sai kokonaiskuvan. Pisteitä käytettiin myös hieman apuna silloin, kun pohdittiin opiskelijan ymmärrystä kasvihuoneilmiön mekanismista.

### 4.3.1 Kasvihuonekaasuista tietämisen analysointi

Analysoinnin ensimmäisessä osiossa määriteltiin kolme tutkittavaa asiaa:

- 1) Onko vastauksen a-kohdassa mainittu kasvihuonekaasut terminä?
- 2) Onko vastauksen a-kohdassa mainittu lämmittävä vaikutus?
- 3) Mitä muita kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidi tai vesihöyry on mainittu koko vastauksessa?

Kohtiin 1 ja 2 merkittiin jokaisen kokelaan kohdalle vastaukseksi joko kyllä (1) tai ei (-), ja kohtaan 3 merkittiin ilmenneet kasvihuonekaasut tai viiva merkiksi, jos niitä ei ilmennyt. Kohdassa 1 tarkasteltiin ainoastaan vastauksen a-kohtaa, sillä haluttiin saada selville,

osaavatko opiskelijat käyttää oikeaa termiä kasvihuoneilmiötä koskevassa kysymyksessä. Ei siis riittänyt, jos vastauksessa puhuttiin esimerkiksi hiilidioksidista, vaan piti mainita sana kasvihuonekaasut. Toisessa kohdassa oli tarkoituksena saada selville, osaavatko opiskelijat liittää kasvihuoneilmiön maanpintaa ja ilmakehää lämmittävään vaikutukseen. Tässä ei tarvinnut osata mainita, että juuri kasvihuonekaasut aiheuttavat lämmittävän vaikutuksen, vaan riitti, että kasvihuoneilmiö yhdistettiin lämmittävään vaikutukseen.

Kasvihuonekaasujen tunteminen on oleellinen osa kasvihuoneilmiön ymmärtämistä, mutta tässä työssä tarkastellaan kohdan 3 mukaisesti vain opiskelijoiden mainitsemia muita kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidia tai vesihöyryä. Tarkastelussa otettiin huomioon koko tehtävän kaikkien kohtien vastaukset, sillä oleellista ei ole se, missä vaiheessa vastausta opiskelija mainitsi kasvihuonekaasun vaan se, mitä kasvihuonekaasuja ylipäättään mainittiin. Vesihöyryn ja hiilidioksidin mainitsemisen tarkastelu ei tuntunut järkevältä, koska kokeen tehtävänannossa mainittiin nämä ilmastoon vaikuttavina tekijöinä. Analyysivaiheessa kävi kuitenkin ilmi, että kaikki eivät selvästi olleet tunnistaneet vesihöyryä kasvihuonekaasuksi tehtävänannosta huolimatta, mutta suuresta osasta vastauksia oli myöskin vaikea tulkita, tiedettiinkö vesihöyryn vaikuttavan ilmastoon kasvihuonekaasuna vai jotenkin muuten. Näin ollen vesihöyryä ei alettu tarkastella enää tässä vaiheessa.

#### **4.3.2 Kasvihuoneilmiön mekanismien analysointi**

Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimusta käytettiin apuna määritettäessä alustava kategorisointi kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämiselle. Artikkelin avulla kategorisointi muodostettiin heikoimmasta kategoriasta parhaimpaan siten, että oleellisena tekijänä eri pääkategorioiden välillä oli säteilyjen ymmärtäminen. Jokainen vastaus luokiteltiin vain yhteen kategoriaan, kuten myös Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa. Artikkelin luokittelusta poiketen kasvihuoneilmiön sekoittaminen otsonikatoon päätettiin jättää mekanismin varsinaisen luokittelun ulkopuolelle tässä työssä. Aineistosta kävi ilmi, että otsonikato ajateltiin usein lisäsyöksi kasvihuoneilmiölle, joten otsonikatoon sekoittamista päätettiin tarkastella erillisenä tekijänä. Jos otsonikatoon sekoittaminen ilmeni kuitenkin ainoana ”mekanismina” kasvihuoneilmiölle, niin vastaus luokiteltiin täysin vääräksi mekanismiksi.

Kasvihuoneilmiön mekanismin luokittelussa otettiin huomioon opiskelijoiden vastaukset tehtävän a–c-kohtiin. Tehtävän kysymyksiä tarkasteltaessa on selvää, että mekanismista olisi pitänyt kertoa vastauksen a-kohdassa, mutta analysointivaiheessa kävi ilmi,

että useat opiskelijat puhuivat kasvihuoneilmiön toimintaperiaatteesta vasta b- tai c-kohdassa vesihöyryn tai hiilidioksidin yhteydessä. Näin ollen vastausten analysointia ei rajoitettu a-kohtaan, jotta saatiin paras mahdollinen kuva opiskelijoiden todellisista käsityksistä. Kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämiselle muodostui seuraavanlaiset kategoriat:

0a. Ei mekanisme ollenkaan.

0b. Täysin väärä ajatus mekaniismista.

1. Kasvihuonekaasut / hiilidioksidi lämmitävät.

2a. Maanpinnalta lähtevä lämpö(säteily) ei pääse pois / heijastuu takaisin.

2b. Maanpinnalta lähtevä lämpösäteily absorboituu kasvihuonekaasuihin.

3a. Auringon säteily pääsee ilmakehään/maapallolle mutta ei sieltä pois / heijastuu takaisin.

3b. Auringon säteily heijastuu maanpinnasta eikä pääse pois / heijastuu takaisin.

3c. Auringon säteily pääsee ilmakehään/maapallolle (ja heijastuu maanpinnasta), mutta säteily ei pääse pois, koska se absorboituu kasvihuonekaasuihin.

3d. Auringon säteily heijastuu maanpinnasta ja absorboituu kasvihuonekaasuihin, jotka emittoivat säteilyä maanpinnalle.

4. Auringon säteily pääsee maanpinnalle, mutta se ei pääse pois / heijastuu takaisin, koska säteilyn taajuus / energia muuttuu.

5a. Auringon säteily pääsee maanpinnalle, mutta Maan lämpösäteily ei pääse pois / heijastuu takaisin.

5b. Auringon säteily pääsee maanpinnalle, mutta Maan lämpösäteily absorboituu (osittain) kasvihuonekaasuihin.

5c. Auringon säteily pääsee Maahan, mutta Maan lämpösäteily absorboituu (osittain) kasvihuonekaasuihin, jotka emittoivat lämpösäteilyä takaisin maanpinnalle.

Vastaukset luokiteltiin 0-kategoriaan, kun opiskelijoilla ei ollut mitään oikeaa käsitystä kasvihuoneilmiön toimintaperiaatteesta. Kattegoriaan 1 luokiteltiin vastaukset, joissa kasvihuonekaasujen itsessään ajateltiin aiheuttavan kasvihuoneilmiötä, eli näissä vastauksissa säteilyä ei liitetty kasvihuoneilmiöön mitenkään. Kattegorian 2 vastauksissa puhuttiin ainoastaan maanpinnalta lähtevästä lämpösäteilystä tai lämmöstä, eli Auringon säteilystä ei puhuttu ollenkaan. Sen sijaan kattegorian 3 muodostivat vastaukset, joissa sä-

teily oli peräisin ainoastaan Auringosta. Säteilyn lajia ei tässä otettu huomioon, vaan säteilyn aallonpituus saattoi olla mitä vain, kunhan säteily oli peräisin Auringosta. Koska tässä kategoriassa säteily oli peräisin ainoastaan Auringosta, ei vastauksissa oltu ymmärretty mustan kappaleen säteilyä ollenkaan.

Kategoria 4 muodostettiin analyysivaiheessa kategorioiden 3 ja 5 väliin. Kategoriassa 5 opiskelijoiden piti tuoda ilmi Auringon ja Maan säteilyjen ero siten, että he ymmärsivät kappaleiden säteilevän eri taajuuksista säteilyä. Opiskelijoiden ei täytynyt tietää täysin oikeita säteilylajeja Auringosta ja Maasta lähteville säteilyille, mutta säteilyjen piti olla selvästi peräisin sekä Auringosta että Maasta. Tässä opiskelijoiden tuli siis ymmärtää mustan kappaleen säteilyä sekä eri säteilylajien kykyä vuorovaikuttaa eri tavoin ilmakehän kanssa. Kategoria 4 muodostui vastauksista, joissa tuotiin ilmi maanpinnalle tulevan ja sieltä lähtevän säteilyn ero, mutta säteilyn ajateltiin olevan peräisin Auringosta. Vastaukset luokiteltiin siis tähän kategoriaan silloin, kun mustan kappaleen säteilyä ei oltu ymmärretty, mutta tulevan ja lähtevän säteilyn tiedettiin vuorovaikuttavan eri tavoin ilmakehän kanssa.

Kategorioiden 2, 3 ja 5 alakohdat muodostuivat hyvin pitkälti sen perusteella, ymmärrettiinkö vastauksissa säteilyn absorboituminen kasvihuonekaasuihin, vai puhuttiinko niissä säteilyn kulun estymisestä tai heijastumisesta takaisin maanpinnalle. Kategorian 4 vastauksissa puhuttiin ainoastaan säteilyn kulun estymisestä tai heijastumisesta, joten siihen ei muodostunut alakategorioita. Kohtiin 2b, 3c, 3d, 5b ja 5c luokiteltiin vastaukset, joissa ymmärrettiin, että kasvihuonekaasut absorboivat säteilyä, minkä vuoksi vähemmän säteilyä poistuu maapallolta. Vaikka kokonaisuudessaan maapallolta poistuu yhtä paljon energiaa kuin sinne saapuu (Lindsey 2009), tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu sitä, että ajattelivatko opiskelijat maapallolta poistuvan kokonaisuudessaan vähemmän säteilyä kuin sinne saapuu. Kohdat 3c ja 3d sekä 5b ja 5c eroavat toisistaan siten, että kohtien 3d ja 5c vastauksissa kasvihuonekaasujen absorbointikyvyn lisäksi ymmärrettiin niiden emittoivan säteilyä myös takaisin maanpinnalle. 5c on näin ollen ainoa oikea vaihtoehto kasvihuoneilmiön mekanismin täydelliselle ymmärtämiselle kaikista kategorioista. Jotta vastauksessa katsottiin olevan ymmärrys kasvihuonekaasujen absorbointikyvystä, niin niissä sai puhua absorboimisen sijasta myös sitomisesta, sillä niiden katsottiin tarkoittavan samaa asiaa. Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto kategorioiden 2–5 jakaantumisesta alakategorioihin.

**Taulukko 3. Kategorioiden 2–5 jakautuminen alakategorioihin.**

Kategoria	Säteilyn kulku estyy. /Säteily heijastuu takaisin.	Säteily absorboituu.
2. Puhutaan vain maanpinnalta lähtevästä säteilystä.	2a	2b
3. Puhutaan vain Auringon säteilystä.	3a, 3b	3c, 3d
4. Puhutaan Auringon säteilystä, jonka taajuus muuttuu	4	-
5. Erotetaan Auringon ja Maan säteily.	5a	5b, 5c

Vastaukset luokiteltiin kategorioihin 2a, 3a, 3b, 4 tai 5a silloin, kun niissä ei puhuttu säteilyn absorboitumisesta, vaan maapallolta poistuvan säteilyn ajateltiin heijastuvan ilmakehästä takaisin maanpinnalle tai puhuttiin vain säteilyn kulun estymisestä. 3a ja 3b eroavat toisistaan vain siten, että 3b-kohdan vastauksissa säteilyn ajateltiin heijastuvan ensin maanpinnasta, kun taas 3a-kohdan vastauksissa säteilyn tuloa maanpinnalle tai ilmakehään ei määritelty kovin tarkasti. Sen lisäksi, että jokainen vastaus luokiteltiin yhteen luokkaan 0a–5c, kaikkia luokkien 2a–5c vastauksia tarkasteltiin myös siitä näkökulmasta, että mikä säteilyn poistumisen esteenä oli. Tässä eroteltiin myös se, puhuttiinko vastauksissa säteilyn heijastumisesta takaisin maanpinnalle vai pelkästään säteilyn kulun estymisestä. Näin ollen Excel-tilukossa mekanismin tarkastelun kohdalla ensimmäisenä lisäkysymyksenä oli:

- 1) Mistä a) säteilyn heijastuminen / b) säteilyn kulun estyminen / c) säteilyn absorboituminen ilmakehässä johtuu?

Jos vastaus oli luokiteltu kategorioihin 0 tai 1, niin lisäkysymystä 1 ei tarkasteltu. Silloin tähän sarakkeeseen merkittiin viiva kokelaan kohdalle. Jos esimerkiksi vastauksessa ajateltiin säteilyn heijastuvan kasvihuonekaasuista, niin sarakkeeseen kokelaan kohdalle merkittiin ”a) kasvihuonekaasut”. Jos vastauksessa sen sijaan puhuttiin esimerkiksi, että säteily ei pääse pois ilmakehästä hiilidioksidin takia, niin sarakkeeseen merkittiin ”b) hiilidioksidi”. Näin lisäkysymyksellä 1 pystyttiin yhdessä sarakkeessa tarkastelemaan useaa eri asiaa kätevästi.

Analyysivaiheessa muodostettiin mekanismin määrittämisen tueksi lisäsarake, johon merkittiin sellaiset vastaukset, joissa puhuttiin sekä poistuvan säteilyn heijastumisesta että absorboitumisesta ilmakehässä. Jokainen vastaus luokiteltiin kuitenkin vain yhteen

edellä esitellyistä kategorioista siitäkin huolimatta, että siinä esiintyi sekä heijastumista että absorboitumista. Tällöin kategoria valittiin sen mukaan, kumpi ajatus vastauksessa oli vallitsevampi kasvihuoneilmiön ymmärryksessä, mutta tilanteet merkittiin ylös lisäsarakeeseen. Jos vastauksessa mainittiin heijastumisen lisäksi ainoastaan, että vesihöyry sitoo lämpöä, niin tätä ei otettu huomioon lisäsarakeessa, vaan täytyi puhua lämmön sijaan lämpösäteilystä.

Kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämiseen liittyviksi lisäkysymyksiksi määriteltiin jo alussa kaksi seuraavaa:

- 2) Esiintyykö vastauksissa kasvihuoneanalogia?
- 3) Muodostavatko kasvihuonekaasut / hiilidioksidi ilmakehässä kerroksen tai ovatko ne ilmakehän yläosassa?

Molempien lisäkysymysten kohdalle merkittiin jokaisen kokelaan kohdalle joko kyllä (1) tai ei (-). Lisäkysymyksen 2 tarkoituksena oli selvittää, kuinka moni ajattelee kasvihuoneilmiön toimivan samalla tavalla kuin oikea kasvihuoneilmiö. Kysymyksen kohdalle laitettiin kyllä-merkintä, jos vastauksessa mainittiin sana kasvihuone ja viitattiin kasvihuoneilmiön toimivan samalla tavalla kuin oikea kasvihuone. Lisäkysymyksen 3 tarkoituksena oli ottaa selvää, tietävätkö opiskelijat kasvihuonekaasujen jakaantuvan joka puolelle ilmakehää. Kysymyksen kohdalle tuli kyllä-merkintä, jos vastauksessa oli selvästi kerrottu kasvihuonekaasujen tai jonkin kasvihuonekaasun muodostavan ilmakehään kerroksen, tai jos kasvihuonekaasujen ajateltiin olevan vain yläilmakehässä. Kerros saatettiin tulkita myös vastaukseen piirretystä kuvasta, jos siihen oli selvästi merkitty kasvihuonekaasut vain tietyksi kerrokseksi, mutta jos kuva oli yhtään hankalasti tulkittava, niin sitä ei otettu huomioon.

### 4.3.3 Virhekäsitysten analysointi

Aikaisemmissa tutkimuksissa havaittuja virhekäsityksiä (taulukko 2) tarkasteltiin tässä työssä viiden eri kysymyksen avulla. Tutkittavat asiat olivat:

- 1) Sekoitetaanko luonnollinen ja voimistuva kasvihuoneilmiö?
- 2) Sekoitetaanko kasvihuoneilmiö tai ilmaston lämpeneminen otsonikatoon?
- 3) Yhdistetäänkö kasvihuoneilmiö tai ilmaston lämpeneminen muihin ympäristöhaittoihin? Mihin?
- 4) Mitä virhekäsityksiä liittyy kasvihuonekaasuihin?
- 5) Mitä epäloogisia virhekäsityksiä liittyy kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen?

Jokainen kysymys muodosti Excel-taulukossa oman sarakkeensa, ja kysymysten 1, 2, 4 ja 5 kohdalle merkittiin jokaisen kokelaan kohdalle joko kyllä (1) tai ei (-). Kysymyksen 3 kohdalle kirjoitettiin suoraan ympäristöhaitta, joka kokelaan vastauksessa ilmeni tai viiva merkiksi, jos ympäristöhaittoja ei ilmennyt. Lisäksi jokaisen kokelaan viimeisen sarakkeen muodosti lisäkohta, johon analysointivaiheessa kirjoitettiin tarkennuksia merkityistä virhekäsityksistä. Tarkennuksia kirjoitettiin pääasiassa kaikista muista kysymyksistä paitsi ensimmäisestä, sillä sen tulkinta oli kohtalaisen selkeää. Virhekäsitysten tutkiminen rajoittui yllä mainittuihin kysymyksiin, ja vastauksista tarkasteltiin pääasiassa a–c-kohtia.

Luonnollisen ja voimistuvan kasvihuoneilmiön sekoittamista tutkittiin pääasiassa vastausten a-kohdista, joissa puhuttiin kasvihuoneilmiöstä. Kysymyksen 1 kohdalle laitettiin kyllä-merkintä, jos vastauksista kävi selvästi ilmi, ettei opiskelija ymmärtänyt kasvihuoneilmiön olevan luonnollinen asia tai ajatteli kasvihuoneilmiön olevan sama asia kuin ilmaston lämpeneminen. Merkintä laitettiin myös, jos kasvihuoneilmiön ajateltiin johtuvan ihmisen toiminnasta tai jos kasvihuoneilmiön ajateltiin suoraan aiheuttavan maapallon lämpötilojen nousua. Merkintä laitettiin myös niissä tapauksissa, joissa opiskelija vastasi kasvihuoneilmiötä koskevaan kysymykseen luettelemalla ilmastomuutoksen seurauksia. Vaikka opiskelija olisi ajatellut hieman väärin, niin kyllä-merkintää ei kuitenkaan laitettu, jos kasvihuoneilmiön tiedettiin olevan luonnollinen asia, jota ilman elämä maapallolla olisi mahdotonta.

Jos kasvihuoneilmiö tai voimistuva kasvihuoneilmiö sekoitettiin otsonikatoon, niin kysymyksen 2 kohdalle laitettiin kyllä-merkintä riippumatta siitä, esiintyikö otsonikatoon sekoittaminen vastauksessa ainoana kasvihuoneilmiön mekanismin tulkintana vai jonkin muun mekanismin lisäksi. Jos otsonikadon nähtiin olevan ainoa syy kasvihuoneilmiölle, niin vastauksia tarkasteltiin lisäksi kasvihuoneilmiön mekanismien tarkastelun yhteydessä. Virhekäsitysten tarkastelussa otettiin kuitenkin huomioon kaikki otsonikatoon sekoitetut vastaukset, jotta saadaan kokonaiskuva siitä, kuinka moni opiskelija ajatteli otsonikadon jollain tavalla liittyvän kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen. Otsonikatoon sekoittamisen tarkastelussa otettiin huomioon vastausten a–c-kohdat, sillä otsonikadosta saatettiin puhua näissä kaikissa kohdissa. Ylös merkittiin siis kaikki vastaukset, joissa puhuttiin otsonikerroksen heikkenemisestä, vaikka sen ei suoraan mainittu liittyvän kasvihuoneilmiöön. Kun kaikki vastaukset oli käyty läpi, vastauksia otsonikatoon sekoittamisesta vertailtiin ja niistä etsittiin yhtäläisyyksiä.

Kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen sekoittamista muihin ympäristöhaittoihin kuin otsonikatoon tutkittiin vastausten a–c-kohdista. Ympäristöhaitat merkittiin ylös aina,

kun niiden katsottiin millään tavalla liittyvän kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen. Eri ympäristöhaittojen ilmenemismäärät laskettiin, ja vastausten yhtäläisyyksiä tarkasteltiin. Tutkittaessa vastauksia, joissa puhuttiin happosateista, piti olla tarkkana, milloin opiskelija yhdisti happosateet kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen. Tehävän b-kohdassa kysyttiin vesihöyryn vaikutusta ilmastoon, ja osa opiskelijoista mainitsi tässä yhteydessä vesihöyryn aiheuttavan joidenkin yhdisteiden kanssa happosateita. Jos vastauksessa ei nähty olevan mitään väärää, niin sitä ei otettu huomioon. Sen sijaan, jos happosateiden ajateltiin johtuvan kasvihuonekaasuista tai hiilidioksidista, tai jos happosateet muulla tavalla yhdistettiin kasvihuoneilmiöön tai ilmastomuutokseen, niin kysymyksen 3 kohdalle laitettiin merkintä.

Kasvihuonekaasuihin liittyvien virhekäsitysten tutkimisessa otettiin huomioon koko vastaukset, sillä myös d-kohdissa saatettiin puhua kasvihuonekaasuista. Aiempien tutkimusten perusteella oli oletuksena, että vääriä kasvihuonekaasuja saatetaan mainita (Nevanpää 2005) ja hiilidioksidin voidaan ajatella olevan ainoa kasvihuonekaasu (mm. Dawson 2015). Näiden asioiden lisäksi vastauksista tarkasteltiin selvästi kasvihuonekaasujen luonteeseen tai toimintaan liittyviä asioita, ja virhekäsitykset merkittiin ylös tarkentavine kommentteineen. Kun kaikki kasvihuonekaasuihin liittyvät virhekäsitykset oli löydetty, niistä etsittiin yhtäläisyyksiä.

Epäloogisten virhekäsitysten tarkastelussa otettiin myös huomioon koko vastaukset. Tämän sarakkeen kohdalle kerättiin kaikki sellaiset kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen liittyvät virhekäsitykset, joita ei merkitty muiden virhekäsitysten kohdalle. Tässä kohdassa piti erityisesti muistaa tarkastella juuri kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen liittyviä asioita, ja esimerkiksi yleisesti fysiikkaan liittyvät virheelliset maininnat jätettiin huomiotta. Myöskin ilmaston lämpenemiseen liittyen huomiotta jätettiin suoraan ilmastomuutoksen vaikutuksiin ja seurauksiin liittyvät asiat, sillä niitä ei muutenkaan tässä tutkimuksessa ole tarkasteltu. Myöskään d-kohdan jäätiköiden sulamisiin liittyviä virhekäsityksiä ei merkitty ylös kasvihuoneilmiöön liittyvinä virhekäsityksinä. Jos vastauksen kasvihuoneilmiön mekanismi oli luokiteltu 0-kategoriaan, niin sarakkeeseen epäloogisista virhekäsityksistä merkittiin 0. Merkinnot 1 ja 0 tarkoittivat molemmat sitä, että vastauksesta löytyy epälooginen virhekäsitys, mutta 0-merkinnällä haluttiin erottaa ne vastaukset, jota luokiteltiin mekanismin mukaan 0-kategoriaan. Tässä ei otettu huomioon kuitenkaan mekanismeja, joissa puhuttiin otsonikadosta, sillä niitä tarkastellaan erikseen. Vaikka 0-kategoriaan luokiteltuja vastauksia käsitellään myös mekanismin yhteydessä, otetaan niiden epäloogisuudet huomioon myös virhekäsitysten tarkastelussa, että saadaan kokonaiskuva opiskelijoiden epäloogisista virhekäsityksistä.



## 5. TULOKSET

Tässä luvussa esitellään tutkimuksessa saadut tulokset. Aluksi kerrotaan opiskelijoiden kasvihuonekaasuihin ja lämmittävään vaikutukseen liittyvistä tiedoista. Luvussa 5.2 tarkastellaan opiskelijoiden ymmärrystä kasvihuoneilmiön mekanismeista, ja yleisimpien kuvailujen jälkeen kerrotaan tarkemmin eri kategorioihin luokitelluista mekanismeista sekä mekanismeja tarkentavista asioista. Luvussa 5.3 esitellään opiskelijoilla ilmenneitä virhekäsityksiä sekä yleisesti että jokaiseen virhekäsitykseen tarkemmin perehtyen. Lopuksi luvussa 5.4 pohditaan tutkimuksen luotettavuutta.

### 5.1 Tiedot kasvihuonekaasuista ja lämmittävästä vaikutuksesta

Taulukossa 4 on esitetty saadut tulokset kasvihuonekaasuja ja kasvihuoneilmiön lämmittävää vaikutusta koskevasta tarkastelusta. Noin 45 % opiskelijoista osasi käyttää termiä kasvihuonekaasut a-kohdan vastauksessa, jossa kysyttiin, mitä kasvihuoneilmiö tarkoittaa. Joissain vastauksissa saatettiin puhua yleisesti kaasuista tai nimetä oikeita kasvihuonekaasuja, mutta termi kasvihuonekaasut jäi mainitsematta. Jotkut eivät sen sijaan osanneet puhua kaasuista ollenkaan. Saadusta tuloksesta näemmekin sen, että noin puolet tietävät käsitteen kasvihuonekaasut ja osaavat liittää sen kasvihuoneilmiöön siitä kysyttäessä.

**Taulukko 4.** *Opiskelijoiden maininnat kasvihuonekaasuista ja lämmittävästä vaikutuksesta vastauksissa (N = 243).*

	Vastausten määrä	Prosenttiosuus (%)
Kasvihuonekaasut mainittu a-kohdassa.	109	44,9
Lämmittävä vaikutus mainittu a-kohdassa.	208	85,6
Muita kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidi ja vesihöyry mainittu.	60	24,7

Kuten taulukosta 4 nähdään, kasvihuoneilmiön maanpintaa ja/tai ilmakehää lämmittävä vaikutus tiedettiin huomattavasti useammin kuin kasvihuonekaasut. Noin 85 % opiskelijoista osasi mainita lämmittävän vaikutuksen a-kohdan vastauksessa, eli valtaosa tiesi kasvihuoneilmiön lämmittävän maapalloa ja näki asian oleellisena mainita. Vaikka lämmittävä vaikutus tiedettiin hyvin, kaikki eivät maininneet, mistä lämmittävä vaikutus joh-

tuu. Tarkastelussa ei myöskään eroteltu sitä, tiesikö opiskelija kasvihuoneilmiön itsessään lämmittävän maanpintaa ja ilmakehää, vai ajatteliko hän voimistuvasta kasvihuoneilmiöstä aiheutuvan ilmaston lämpenemisen olevan sama asia kuin kasvihuoneilmiö. Oleellista kuitenkin on, että suurin osa opiskelijoista tiesi kasvihuoneilmiöllä olevan maapalloa lämmittävä vaikutus.

Ylioppilaskokeen tehtävässä ei missään kohta kysytty, mitä kasvihuonekaasut ovat, mutta kysyttäessä kasvihuoneilmiöstä voisi eri kasvihuonekaasujen mainitsemisen katsoa olevan oleellista. Kuitenkin vain noin 25 % opiskelijoista mainitsi vastauksissaan jonkin tai joitain muita kasvihuonekaasuja kuin vesihöyryn tai hiilidioksidin. Taulukkoon 5 on kerätty vastauksissa mainitut kasvihuonekaasut ja niiden ilmenemismäärät eri opiskelijoiden vastauksissa.

**Taulukko 5.** *Opiskelijoiden mainitsemat kasvihuonekaasut ja niiden ilmenemismäärät eri opiskelijoiden vastauksissa (N = 243).*

	Vastausten määrä	Prosenttiosuus (%)
Metaani	59	24,3
Otsoni	9	3,7
CFC-yhdisteet	6	2,5
Dityppioksidi	3	1,2

Taulukosta 5 nähdään, että muista kasvihuonekaasuista kuin vesihöyrystä ja hiilidioksidista metaani oli selvästi yleisimmin mainittu. Jos vastauksessa mainittiin muita kasvihuonekaasuja, niin metaani esiintyi niissä kaikissa paitsi yhdessä vastauksessa. Tavallisesti kasvihuonekaasuja lueteltiin vastauksen a-kohdassa, mutta metaani mainittiin usein myös d-kohdassa jäätiköiden ja ikiroudan sulamisen yhteydessä. Otsoni, CFC-yhdisteet ja dityppioksidi mainittiin lähes joka kerta a-kohdassa. Näiden kaasujen lisäksi mainittiin kaksi kertaa typen oksidit, joilla opiskelija on voinut tarkoittaa dityppioksidia. Kaiken kaikkiaan taulukon 5 tuloksista nähdään, että opiskelijat joko tietävät heikosti kasvihuonekaasuja tai eivät nähneet tarpeelliseksi tuoda niitä ilmi vastauksissaan. Eri-tyisesti muiden kuin metaanin mainitseminen oli erittäin vähäistä.

## 5.2 Kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtäminen

Taulukossa 6 on esitetty tulokset kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämisestä pääkategorioittain. 0a-kategoria poistui kokonaan, sillä kaikki opiskelijat olivat yrittäneet kuvailla kasvihuoneilmiön toimintaa jollain tavalla. Näin ollen 0-kategoria koskee tuloksissa ainoastaan täysin vääriä käsityksiä mekanismista. Taulukosta 6 nähdään, että selvästi

yleisimmin opiskelijat puhuivat ainoastaan Auringosta peräisin olevasta säteilystä. Näitä vastauksia oli yli 67 % vastauksista. Seuraavaksi eniten ilmeni täysin vääriä ajatuksia mekanismista, joita oli noin 10,7 %. Muutama opiskelija ajatteli kasvihuonekaasujen it-sessään aiheuttavan kasvihuoneilmiötä, ja noin 9,9 % opiskelijoista puhui vastauksissaan ainoastaan maanpinnalta lähtevästä lämmöstä tai lämpösäteilystä. Näistä kategorian 2 vastauksista ei voinut olla varma, tarkoittiko opiskelija Auringosta peräisin olevaa säteilyä, Maan emittoimaa lämpösäteilyä vai jotakin muuta maanpinnalta lähtevää lämpöä, mutta vastauksissa puhuttiin kuitenkin ainoastaan maanpinnalta tulevasta säteilystä tai lämmöstä. Vastaajista 8,6 % tiesi, että Auringosta tuleva ja maanpinnalta lähtevä säteily ovat erilaisia, mutta näistä vain 4,9 % tiesi maanpinnalta lähtevän säteilyn olevan maanpinnan emittoimaa säteilyä. Kaiken kaikkiaan kasvihuoneilmiön ymmärtämisessä oleellisena tekijänä oleva mustan kappaleen säteily sekä Auringosta ja Maasta lähtevien säteilyjen eroavaisuus tiedettiin hyvin huonosti.

**Taulukko 6.** *Opiskelijoiden käsitykset kasvihuoneilmiön mekanismista säteilyn kulun avulla kategorisoituna (N = 243).*

Kategoria	Vastausten määrä	Prosenttiosuus (%)
0. Täysin väärä mekanismi.	26	10,7
1. Kasvihuonekaasut / hiilidioksidi lämmittävät.	8	3,3
2. Puhutaan vain maanpinnalta lähtevästä säteilystä.	24	9,9
3. Puhutaan vain Auringon säteilystä.	164	67,5
4. Puhutaan Auringon säteilystä, jonka taajuus muuttuu.	9	3,7
5. Erotetaan Auringon ja Maan säteily.	12	4,9

Taulukossa 7 on esitetty taulukon 3 mukainen kategorioiden 2–5 jakautuminen säteilyn kulun estymiseen tai heijastumiseen sekä säteilyn absorboitumiseen vastausten prosenttiosuuksina kaikista vastauksista. Lisäksi siihen on merkitty kokonaisuus vastausten jakautumisesta säteilyn kulun mukaan. Taulukosta nähdään, että jokaisessa kategoriassa puhuttiin säteilyn kulusta selvästi useammin väärin tai puutteellisesti kuin oikein. Kaikista opiskelijoista ainoastaan 12,6 % puhui maapallolta poistuvan säteilyn absorboitumisesta, ja loppuissa vastauksissa puhuttiin säteilyn kulun estymisestä tai heijastumisesta, tai vastaukset kuuluivat kategorioihin 0 tai 1. Kun säteilyn absorboitumista ei oltu ymmärretty, voidaan katsoa, etteivät opiskelijat olleet ymmärtäneet eri kasvihuonekaasujen absorbointiominaisuuksia, saati sitä, mihin kaasujen absorbointikyky perustuu. Huomattavaa on, että 58 % kaikista vastauksista koski Auringosta peräisin olevaa sätei-

lyä, joka poistuessaan maapallolta heijastuu takaisin tai ei vain pääse pois. Näissä vastauksissa ei siis oltu ymmärretty sekä mustan kappaleen säteilyä, säteilyjen eroavaisuutta että kasvihuonekaasujen absorbointiominaisuuksia.

**Taulukko 7.** *Opiskelijoiden käsitykset säteilyn kulusta kategorioissa 2–5. Tulokset vastausten prosenttiosuutena kaikista vastauksista (N = 243).*

Kategoria	Säteilyn kulku estyy. /Säteily heijastuu takaisin. (Vastausten osuus %)	Säteily absorboituu. (Vastausten osuus %)
2. Puhutaan vain maanpinnalta lähtevästä säteilystä.	8,6	1,2
3. Puhutaan vain Auringon säteilystä.	58,0	9,4
4. Puhutaan Auringon säteilystä, jonka taajuus muuttuu	3,7	0,0
5. Erotetaan Auringon ja Maan säteily.	2,9	2,0
Yhteensä	73,2	12,6

Vastauksia, joissa puhuttiin sekä säteilyn absorboitumisesta että heijastumisesta oli yhteensä 14 kappaletta eli 5,8 % kaikista vastauksista. Näistä vastauksista viidessä tulkittiin säteilyn absorboituminen vallitsevampana ajatuksena analysointivaiheessa, ja loput 9 vastausta luokiteltiin säteilyn heijastumisen perusteella. Näin ollen noin 2,1 % kaikista vastauksista luokiteltiin absorboitumisen mukaan, vaikka niissä puhuttiin myös säteilyn heijastumisesta. Vastaavasti 3,7 % vastauksista luokiteltiin heijastumisen tai säteilyn kulun estymisen mukaan, vaikka niissä puhuttiin myös säteilyn absorboitumisesta. Verrattuna näitä osuuksia taulukon 7 kokonaisprosenttiosuuksiin epäselvien vastauksien määrät eivät ole hyvin merkittäviä etenkin, kun mukana ei ollut yhtään täysin oikeaa vastausta. Viidestä absorbointiin luokitellusta vastauksista vain yksi sijoittui 5-kategoriaan ja sielläkin 5b-kategoriaan, ja tämä vastaus oli muuten hyvin ajateltu, paitsi sanaa ”heijastuminen” käytettiin absorboinnin rinnalla. Alla lainaus vastauksesta:

*”Vesihöyrymolekyylä koostuu kolmesta atomista, minkä takia se pystyy värähtelemään usealla eri taajuudella, jonka takia se voi absorboida ja heijastaa useita eri infrapunasäteilyn taajuuksia.” (K9/V31)*

Yleensä vastauksissa, jotka luokiteltiin heijastumisen tai säteilyn kulun mukaan, puhuttiin pääasiassa säteilyn heijastumisesta takaisin maanpinnalle, ja säteilyn absorbointi nähtiin vain lisätekijänä kasvihuoneilmiossa. Näin ollen niiden luokittelu meni loogisesti.

Taulukossa 8 saadut tulokset on esitetty tarkemmin niin, että jokaisen alakategorian vastausmäärät ovat nähtävissä. Kategorian 5c vastausten voidaan ajatella olevan kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämisen osalta oikein, ja 5b-kategorian vastaukset ovat myös lähellä oikeaa. 5a-kategorian vastaukset ovat säteilyn kannalta oikeampia kuin alempien kategorioiden vastaukset, mutta toisaalta 3c- ja 3d-kategorioissa säteilyn kulun estyminen on tiedetty paremmin kuin 5a:ssa. Toisaalta myös kategorian 2b vastausten voidaan katsoa olevan oikeampia kuin mitkään kategorioiden 3a–4 vastauksista, mutta 2b:n vastauksissa esiintyy puutteena Auringon säteilyn mainitsematta jättäminen.

**Taulukko 8.** Opiskelijoiden käsitykset mekanismista eri vastauksissa (N = 243).

Kasvihuoneilmiön mekanismin kategoria	Vastausten määrä	Prosentti-osuus (%)
0. Täysin väärä mekanismi.	26	10,7
1. Kasvihuonekaasut / hiilidioksidi lämmittävät	8	3,3
2a. Maanpinnalta lähtevä lämpö(säteily) ei pääse pois / heijastuu takaisin.	21	8,6
2b. Maanpinnalta lähtevä lämpösäteily absorboituu kasvihuonekaasuihin.	3	1,2
3a. Auringon säteily pääsee ilmakehään/maapallolle mutta ei sieltä pois / heijastuu takaisin.	42	17,3
3b. Auringon säteily heijastuu maanpinnasta eikä pääse pois / heijastuu takaisin.	99	40,7
3c. Auringon säteily pääsee ilmakehään/maapallolle (ja heijastuu maanpinnasta), mutta säteily ei pääse pois, koska se absorboituu kasvihuonekaasuihin.	21	8,6
3d. Auringon säteily heijastuu maanpinnasta ja absorboituu kasvihuonekaasuihin, jotka emittoivat säteilyä maanpinnalle.	2	0,8
4. Auringon säteily pääsee maanpinnalle, mutta se ei pääse pois / heijastuu takaisin, koska säteilyn taajuus / energia muuttuu.	9	3,7
5a. Auringon säteily pääsee maanpinnalle, mutta Maan lämpösäteily ei pääse pois / heijastuu takaisin.	7	2,9
5b. Auringon säteily pääsee maanpinnalle, mutta Maan lämpösäteily absorboituu (osittain) kasvihuonekaasuihin.	2	0,8
5c. Auringon säteily pääsee Maahan, mutta Maan lämpösäteily absorboituu (osittain) kasvihuonekaasuihin, jotka emittoivat lämpösäteilyä takaisin maanpinnalle.	3	1,2

Taulukosta 8 nähdään, että vastaukset luokiteltiin selvästi yleisimmin kategoriaan 3b. Yleisin käsitys siis oli, että Auringosta tuleva säteily heijastuu maanpinnasta kohti avaruutta, mutta säteily ei pääse ilmakehästä pois tai heijastuu takaisin maanpinnalle. Seuraavissa alaluvuissa on kerrottu tarkemmin jokaisesta kategoriasta ja annettu esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista.

### 5.2.1 Kategoriat 5 ja 4

Viidennen kategorian vastauksia oli ylipäättään hyvin vähän, ja vain 2,0 % opiskelijoista tiesi Auringon ja Maan emittoivan eritaajuisia säteilyä sekä ymmärsi kasvihuonekaasujen absorboivan maanpinnalta tulevaa säteilyä. Kaikissa näistä vastauksista mainittiin kasvihuonekaasujen tai hiilidioksidin ja vesihöyryn aiheuttavan säteilyn absorboitumista. Vastauksissa ei kuitenkaan huomioitu sitä, että puhuivatko opiskelijat Auringon ja Maan emittoimista säteilyistä oikeilla termeillä. Parhaiten tienneet 2,0 % muodostivat kategoriat 5b ja 5c, joista kategoriassa 5c tiedettiin 5b:n asioiden lisäksi kasvihuonekaasujen emittoivan säteilyä takaisin maanpinnalle. Kategoriaan 5c kuului vain 1,2 % vastauksista, eli kasvihuoneilmiön mekanismin oli ajatellut oikein vain murto-osa opiskelijoista. Myös kategorian 5a vastauksissa säteilyjen eroavaisuus oli tiedetty hyvin, ja vastaukset olivat keskenään hyvin samantyyppisiä. Alla on ote yhdestä näistä vastauksista:

*”Ilmiötä aiheuttavat yhdisteet päästävät lyhyt aaltoista säteilyä lävitseen maan pinnalle mutta eivät päästä pitkä aaltoista säteilyä pois maan pinnalta.” (K11/V31)*

5a-kategorian vastauksissa poistuvan säteilyn ajateltiin heijastuvan takaisin tai sen kulun ajateltiin estyvän kasvihuonekaasujen tai hiilidioksidin ja/tai vesihöyryn takia.

Kategoriaan 4 kuuluvissa vastauksissa ajateltiin, että säteilyn taajuus muuttuu maanpinnasta heijastumisen yhteydessä tai säteilyn energia muuttuu säteilyn tullessa ilmakehään tai heijastuessa maanpinnasta. Missään kategorian 4 vastauksista ei puhuttu säteilyn absorboitumisesta, joten kokonaisuudessaan vastaukset olivat hyvin puutteellisia. Alla on esitetty otteet kahden tämän kategorian vastauksesta:

*”Auringosta tulevilla säteillä on riittävä energia läpäistä hiilidioksidikerros. Kuitenkin niiden osuessa maahan ja kimmotessa takaisin niiden energia vähenee ja vain osa pääsee takaisin avaruuteen.” (K6/V10)*

*”Osa maahan törmänneestä säteilystä heijastuu pitkäaaltoisempina takaisin avaruuteen, mutta törmätessään kasvihuonekaasuihin säde kimpoaa takaisin maan pintaa kohti ja lämmittää sitä.” (K12/V21)*

Vastauksissa ei ymmärretty ollenkaan, että myös Maa emittoi säteilyä, mutta niissä tiedettiin ilmakehän vaikuttavan eri tavalla erilaisiin säteilyihin. Poistuvan säteilyn kulun esitymisen tai takaisinheijastumisen katsottiin useimmiten johtuvan kasvihuonekaasuista. Lisäksi syiksi mainittiin ilmakehä sekä pelkkä hiilidioksidi.

### 5.2.2 Kategoriat 3 ja 2

Kolmanteen kategoriaan kuului selvästi yli puolet vastauksista. 9,4 %:ssa kaikista vastauksista ajateltiin Auringosta peräisin olevan säteilyn absorboituvan ilmakehässä, ja vain 0,8 %:ssa ajateltiin kasvihuonekaasujen lisäksi emittoivan säteilyä takaisin maanpinnalle. Näissä 3c- ja 3d-kategorioiden vastauksissa tiedettiin oikein, että poistuva säteily absorboituu ilmakehässä, mutta vastauksista tekee epäloogisia se, että ilmakehän ajateltiin kohtelevan eri tavalla tulevaa ja lähtevää säteilyä, vaikka säteilyjen ajateltiin olevan samaa säteilyä. Alla on otteet 3c-kategorian vastauksista:

*”Auringosta saapuu mm. lämpösäteilyä (infrapuna) maanpinnalle. Osa tästä heijastuu takaisin. Ilmakehän molekyylit sitovat osan tästä heijastuneesta lämmöstä itseensä.”* (K13/V9)

*”Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa maan pinnalta heijastuva lämpösäteily absorboituu kasvihuonekaasuihin ilmakehässä.”* (K11/V22)

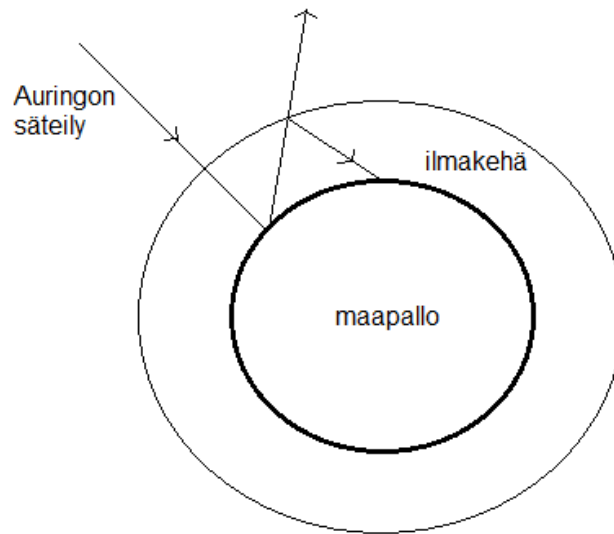
Vastaukset jakautuivat usein a–c-kohtiin, joten yllä esitetyissä lainauksissa on vain lyhyet otteet mekanismeista koskevista koko vastauksista. Suurimmassa osassa vastauksia absorboivaksi tekijäksi mainittiin kasvihuonekaasut, mutta muutamassa vastauksessa puhuttiin vain hiilidioksidista ja/tai vesihöyrystä.

Taulukosta 8 nähdään, että yli 40 % kaikista vastauksista sijoittui kategoriaan 3b. Näissä vastauksissa puhuttiin ainoastaan Auringosta peräisin olevasta säteilystä, jonka ajateltiin heijastuvan ensin maanpinnasta. Lisäksi 3b-kategorian 99 vastauksesta 73:ssa ajateltiin säteilyn heijastuvan takaisin ilmakehästä, jolloin säteilyn ajateltiin joissain vastauksissa jäävän kimpoilemaan edestakaisin ilmakehän ja maanpinnan väliin. Kuvassa 6 on esitetty mallikuva, jonka tyyppisiä kuvia opiskelijoiden vastauksissa usein ilmeni. Vain osa opiskelijoista piirsi vastauksen yhteyteen kuvan, mutta mallikuva ilmentää hyvin myös niiden opiskelijoiden käsityksiä, jotka eivät piirtäneet kuvaa. Alla on otteita 3b-kategorian vastauksista, joissa puhuttiin säteilyn takaisinheijastumisesta:

*”Auringon säteet heijastuvat maan pinnasta ja kasvihuonekaasut heijastavat osan heijastetusta valosta takaisin maan pintaan.”* (K2/V10)

*”Maan pinnalta takaisin avaruuteen heijastuva auringonvalo heijastuuakin vesimolekyyleistä takaisin ja jää lämmittämään ilmakehää ja maata.”* (K10/V9)

*"Kasvihuoneilmiö tarkoittaa maan pinnasta heijastuvan lämpösäteilyn heijastumista pilvistä takaisin kohti maanpintaa." (K14/V4)*



**Kuva 6.** Mallikuva opiskelijoiden piirtämistä kuvista 3b-kategorian vastauksissa.

3b-kategorian loppuissa 26 vastauksessa ei määritetty, miten säteilyn kulku estyy ilmakehässä. Alla on otteita näistä vastuksista:

*"Kaasut laskevat auringosta tulevan säteilyn maahan, mutta maasta takaisin päin heijastuvan lämpösäteilyn kasvihuonekaasut pysäyttävät yhä lisääntyvissä määrin." (K17/V1)*

*"Ilmakehään muodostunut hiilidioksidi estää maanpinnasta heijastuneiden auringon säteiden karkaamista avaruuteen." (K6/V12)*

Kategoria 3a on merkitykseltään hyvin lähellä kategoriaa 3b, ja yhteensä näihin kategorioihin sijoittui 58,0 % kaikista vastauksista. Kategorian 3a vastauksissa säteilyn ei mainittu heijastuvan maanpinnasta, ja vastaukset olivat usein hieman epätarkemmin selostettuja kuin kategorian 3b vastaukset. Lisäksi 3a-kategorian 42 vastauksessa puhuttiin selvästi useammin poistuvan säteilyn kulun estymisestä (26 vastausta) kuin heijastumisesta takaisin (16 vastausta). Näin ollen, ajateltaessa säteilyn heijastuvan takaisin ilmakehästä, säteilyn ajateltiin useimmiten myös heijastuvan ensin maanpinnasta. 3a-kategorian vastaukset, joissa säteilyn kulun ajateltiin estyvän, olivat tyypillisesti seuraavien vastausten kaltaisia:

*"Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan kun ilmaan levinneet saasteet kuten esimerkiksi hiilidioksidi estävät auringon tuoman lämpösäteilyn poistumisen maan ilmakehästä." (K18/V11)*



*”Auringosta tulee koko ajan lämpösäteilyä maapallolle. Kaikki säteily ei enää pääse pois ilmakehästä, jolloin lämpö alkaa kerääntymään maapallolle nostaen maapallon lämpötilaa.” (K14/V1)*

Lisäksi alla on esimerkki 3a-kategorian vastauksista, joissa puhuttiin säteilyn heijastumisesta takaisin:

*”Ilmakehän vesihöyry lämmittää maapallon ilmastoa, sillä se toimii kasvihuonekaasuna, eli estää maapallolle tulevan lämmön karkaamista avaruuteen heijastamalla osan siitä takaisin maan pinnalle.” (K9/V1)*

Kuten kategorioiden 3a ja 3b esimerkkivastauksistakin nähdään, eri opiskelijat ajattelivat heijastumisen tai säteilyn kulun estymisen tapahtuvan eri syistä ilmakehässä. Kun poistuvan säteilyn ajateltiin heijastuvan takaisin, niin noin puolet näistä opiskelijoista mainitsi heijastumisen tapahtuvan kasvihuonekaasuista. Säteilyn kulun estymisessä kasvihuonekaasut mainittiin syyksi vain alle kolmanneksessa vastauksia. Lopuissa vastauksia heijastumisen tai säteilyn kulun estymisen ajateltiin tapahtuvan ainoastaan hiilidioksidista ja/tai vesihöyrystä, määrittelemättömistä molekyyleistä tai kaasuista, hiukkasista, pilvistä, otsonikerroksesta, ilmansaasteista, yleisesti ilmakehästä tai tekijää ei oltu määritelty ollenkaan.

Kategoriaan 2 kuului hieman alle 10 % kaikista vastauksista, ja nämä jakautuivat kategorioihin 2a ja 2b, joista 2b sisälsi vain 1,2 % kaikista vastauksista. Puhuttaessa vain maanpinnalta lähtevästä säteilystä oli siis hyvin harvinaista puhua lisäksi säteilyn absorboitumisesta ilmakehään. 2a-kategoriaan sen sijaan sijoittui kohtalainen määrä vastauksia, joista kahdessa kolmanneksessa poistuvan säteilyn mainittiin heijastuvan takaisin maanpinnalle ja lopuissa puhuttiin vain säteilyn kulun estymisestä. Joissain vastauksissa puhuttiin ainoastaan lämmöstä eikä lämpösäteilystä, jolloin opiskelijan ymmärryksen tulkinta oli hieman hankalaa. Alla on otteet kahdesta eri vastauksesta:

*”Ihmisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt kerääntyvät ilmakehän yläosiin. Siellä hiilidioksidi aiheuttaa ongelmia lämpösäteilyn poistumisessa maasta. Hiilidioksidi estää lämpösäteilyn poistumista maasta ja myös heijastaa sitä takaisin.” (K1/V5)*

*”Kasvihuoneilmiö on ilmiö jossa maasta kohonnut lämpö ei karkaakaan kokonaan avaruuteen vaan osa lämmöstä 'kimpoaa' ilmakehästä takaisin maahan.” (K4/V5)*

Säteilyn kulun estymiselle tai heijastumiselle mainittiin syyksi kasvihuonekaasut vain 6 vastauksessa 21:stä kategorian 2a vastauksista. Kasvihuonekaasut mainittiin siis huomattavasti harvemmin kuin kategorioiden 3a ja 3b vastauksissa. Muut tekijät säteilyn

kulun estymiselle tai heijastumiselle olivat samat kuin 3a- ja 3b-kategorioiden vastauksissa.

### 5.2.3 Kategoriat 1 ja 0

Kategorian 1 vastauksia oli 3,3 % kaikista vastauksista. Näissä vastauksissa kasvihuonekaasujen tai hiilidioksidin ajateltiin joillain tavalla aiheuttavan lämmittävää vaikutusta ja kasvihuoneilmiötä. Kasvihuonekaasujen vaikutusta ei vastauksissa kuitenkaan oltu selitetty, tai niiden vaikutus oli ymmärretty väärin. Alla on kaksi esimerkkiä vastauksista:

*”Kasvihuoneilmiö tarkoittaa sitä, että kasvihuoneilmiötä aiheuttavat kaasut, esim. vesihöyry ( $H_2O$  (g)), metaani ( $CH_4$  (g)) ja hiilidioksidi ( $CO_2$  (g)) jäävät niin sanotusti ’loukkuun’ maan ilmakehään ja niiden konsentraation suurentuessa ilmasto lämpenee.” (K2/V8)*

*”Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa ilmaan vapautuvat hiilidioksidipäästöt lämmittävät ilmastoa aiheuttaen ilmaston lämpenemistä. – – Ilmassa oleva hiilidioksidi pakottaa muita molekyylejä liikkeeseen. Kun molekyylit osuvat toisiinsa syntyy lämpöä.” (K15/V7)*

Vastaukset erosivat 0-kategorian vastauksista siinä, että niissä oli tiedetty kasvihuonekaasujen tai hiilidioksidin aiheuttavan lämmittävää vaikutusta.

Kategoriaan 0 sijoittui 10,7 % vastauksista. Näissä vastauksissa kasvihuoneilmiön mekanismi kuvattiin täysin väärin, eikä vastausta voinut sijoittaa mihinkään muuhun kategoriaan. Vastaukset olivat keskenään hyvinkin erilaisia, paitsi yhdeksi selkeäksi joukoksi muodostui vastaukset, joissa kasvihuoneilmiön toiminta sekoitettiin kokonaan otsonikatoon. Näitä oli 26 vastauksesta 11 kappaletta. Jos vastauksessa puhuttiin otsonikadon liittymisestä kasvihuoneilmiöön mutta esitettiin lisäksi jokin kategorioiden 1–5 mekanismeista, niin vastaus luokiteltiin tämän ”oikeamman” mekanismin mukaan, ja virhekkäisyyksiä kasvihuoneilmiön sekoittamisesta otsonikatoon tarkastellaan luvussa 5.3.

11 vastauksessa puhuttiin ainoastaan otsonikadosta aiheutuvasta kasvihuoneilmiöstä, eikä vastauksissa ilmennyt mitään kategorioiden 1–5 mukaista. Näissä vastauksissa ajateltiin, että kasvihuonekaasut tai hiilidioksidi ohentavat otsonikerrosta, jolloin enemmän säteilyä pääsee maanpinnalle aiheuttaen ilmaston lämpenemistä. Näissä vastauksissa sekoitettiin kasvihuoneilmiö ja ilmaston lämpeneminen, joten puhuttaessa ilmaston lämpenemisestä puhuttiin samalla kasvihuoneilmiöstä. Alla on kaksi esimerkkiä tällaisista vastauksista:

*”Kasvihuoneilmiössä hiilidioksidi heikentää maapallon otsonikerrosta, mikä johtaa siihen, että auringon valo pääsee tunkeutumaan otsonikerroksen läpi aiheuttaen maapallon keskilämpötilojen nousua.” (K8/V3)*

*”Kasvihuoneilmiö on ilmaston lämpeneminen otsonikerroksen vähenemisen seurauksena. – – Luonnossa täytyy olla täydellinen tasapaino hiilidioksidin ja muiden ilmastokaasujen välillä, joten kun ihmiset aiheuttavat suuria hiilidioksidipäästöjä tasapainoa ei enään ole mikä aiheuttaa otsonikerroksen vähentymisen mikä taas vuorostaan aiheuttaa ilmastomuutosta.” (K3/V2)*

Sen sijaan, että otsonikadon ajateltiin aiheuttavan kasvihuoneilmiötä, kasvihuoneilmiön saatettiin myös ajatella olevan sama asia kuin otsonikato.

Muissa 0-kategorian vastauksissa esiintyi erilaisia ajatuksia kasvihuoneilmiöstä. Muutamassa vastauksessa puhuttiin kaasuista, hiukkasista tai aineista, jotka eivät pääse poistumaan maapallolta. Näissä vastauksissa olisi voinut olla hieman logiikkaa, jos aineiden ja muiden sijaan olisi puhuttu säteilystä. Alla esimerkki tällaisesta vastauksesta:

*”Maapallon ilmakehään tulleet aineet heijastuvat maanpinnasta takaisin ilmakehään. Ilmakehä voi päästää osan aineista pois, osa taas heijastuu takaisin maan pinnalle. Kasvihuoneilmiössä kaasuja kerääntyy yhä enemmän maapallon ilmakehään eivätkä ne pääse pois.” (K11/V26)*

Lisäksi alla on otteet kahdesta muusta 0-kategoriaan luokitellusta vastauksesta:

*”Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan ihmisen aiheuttamia hiilidioksidi päästöjä – – Hiilidioksidi vahvistaa auringon valoa.” (K1/V7)*

*”Kasvihuoneilmiössä Maan ilmakehä toimii kuten kasvihuone, minkä seurauksena Maan ilmakehän ilma lämpenee. Auringosta lähtevä aurinkotuuli läpäisee ilmakehän otsonikerroksen ja hiukkaset törmäilevät ilman molekyyliden kanssa (esim. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>). Törmäyksissä niiden liike-energiaa muuttuu lämpöenergiaksi. Hiukkaset eivät pääse enää pois ilmakehästä sillä niillä ei ole enää tarpeeksi liike-energiaa läpäistä otsonikerros.” (K9/V11)*

#### **5.2.4 Kasvihuoneanalogia ja kasvihuonekaasukerrokset**

Kaikista 243 opiskelijasta 68 eli 28,0 % vertasi kasvihuoneilmiön toimintaa oikean kasvihuoneilmiön toimintaan. Kasvihuoneanalogia ilmeni näin ollen merkittävässä osassa vastauksia. Joissain vastauksissa selvitettiin pääasiassa kasvihuoneen toimintaa, ja mainittiin kasvihuoneilmiön toimivan samalla periaatteella, kuten seuraavassa opiskelijan vastauksessa:

*”Kasvihuone toimii sillä periaatteella, että lasinen katto päästää auringon luovuttaman lämpöenergian sisään, mutta ei päästä sitä ulos. Tämän seurauksena kasvihuoneessa lämpötila reilusti korkeampaa, kuin sen ulkopuolella. Hiilidioksidilla ilmakehässä on samankaltainen vaikutus ilmaston lämpötilaan.” (K1/V14)*

Useimmissa vastauksissa kasvihuoneilmiön toiminta oli kuitenkin pääosassa, ja kasvihuoneilmiön mainittiin vain toimivan samalla periaatteella kuin kasvihuone. Kasvihuoneanalogiaa ilmeni kaikkien muiden kategorioiden vastauksissa paitsi kategorioissa 1, 3d ja 4, joissa kaikissa oli kohtalaisen vähän vastauksia. Vastausmääriin suhteutettuna analogiaa ilmeni paljon kategoriassa 3a, jonka vastauksista yli 40 %:ssa mainittiin kasvihuone. Pääkategorian 5 vastauksista yhteensä kolmanneksessa verrattiin kasvihuoneilmiötä kasvihuoneeseen, ja tähän sisältyi myös kategorian 5c vastaus. On siis huomattavaa, että kasvihuoneanalogiaa ilmeni niin heikommassa kuin paremmissakin vastauksissa kasvihuoneilmiöstä.

Kaikista opiskelijoista myös 40 eli 16,5 % mainitsi kasvihuonekaasujen tai hiilidioksidin muodostavan ilmakehässä kerroksen tai sijoittuvan ilmakehän yläosiin. Tähän kuuluivat siis vain ne, jotka selvästi ilmaisivat kerroksen olemassaolon tai ilmakehän yläosiin sijoittumisen, mutta lisäksi saattoi olla useita, jotka ajattelivat kasvihuonekaasujen muodostavan kerroksen, mutta eivät sitä maininneet. Tämä kävi ilmi sellaisista kuvista, joissa säteilyn oli piirretty heijastuvan ilmakehän rajapinnasta, mutta kuvasta ei voinut selvästi tulkita, miten opiskelija rajapinnan ajatteli. Alla on esitetty esimerkki vastauksesta, jossa selvästi ajateltiin hiilidioksidin muodostavan ilmakehässä kerroksen, josta säteily heijastuu takaisin:

*”Hiilidioksidi kerääntyy ilmakehään ja muodostaa kerroksen, joka heijastaa maanpinnalta heijastuneen lämpösäteilyn takaisin maahan.” (K19/V1)*

Vastauksia, joissa mainittiin kasvihuonekaasujen tai hiilidioksidin muodostama kerros tai sijoittuminen ilmakehän yläosiin, ilmeni kaikissa muissa kategorioissa paitsi kategorioissa 2b, 3d ja 5c, joissa olikin hyvin vähän vastauksia. Kasvihuonekaasujen sijoittumisesta ajateltiin väärin siis eri tasoissa vastauksissa ilman, että sitä pystyisi yhdistämään vain tietyn tyyppisiin kasvihuoneilmiön mekanismeihin käsityksiin.

### **5.3 Virhekäsitykset kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä**

Taulukossa 9 on esitetty opiskelijoilla ilmeneviä virhekäsityksiä sekä näiden käsitysten määrät ja prosenttiosuudet kaikista vastauksista. Yhteensä 77,4 %:ssa kaikista vastauksista ilmeni yksi tai useampi taulukossa mainituista virhekäsityksistä, eli alle neljäsosa

opiskelijoista osasi vastata kysymyksiin ilman tarkasteltuja virhekäsityksiä. Keskimäärin vastauksessa ilmeni 1,35 taulukon 9 eri virhekäsitystä. Vääriä käsityksiä ilmeni lähes poikkeuksetta vastauksissa, jotka luokiteltiin kasvihuoneilmiön mekanismin mukaan kategorioihin 0 tai 1, mutta virhekäsityksiä ilmeni myös paremmissa ja jopa kategorian 5c vastauksissa.

**Taulukko 9.** *Opiskelijoiden virhekäsityksiä kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä eri vastauksissa (N = 243).*

Virhekäsitys	Vastausten määrä	Prosenttiosuus (%)
Luonnollisen ja voimistuvan kasvihuoneilmiön sekoittaminen	139	57,2
Kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen sekoittaminen otsonikatoon	59	24,3
Kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen yhdistäminen muihin ympäristöhaittoihin	40	16,5
Kasvihuonekaasuihin liittyvät virhekäsitykset	59	24,3
Epäloogiset virhekäsitykset kasvihuoneilmiöstä tai ilmaston lämpenemisestä	31	12,8
Yksi tai useampi virhekäsitys	188	77,4

Kuten taulukosta 9 nähdään, eri virhekäsitysten ilmenemismäärät vastauksissa poikkeavat suuresti. Kaikkia virhekäsityksiä ilmeni kuitenkin yli 12 %:lla opiskelijoista. Seuraavissa alaluvuissa kerrotaan eri virhekäsityksistä tarkemmin.

### 5.3.1 Luonnollisen ja voimistuvan kasvihuoneilmiön sekoittaminen

Kasvihuoneilmiön ja voimistuvan kasvihuoneilmiön sekoittaminen oli selvästi yleisin virhekäsitys, jota ilmeni 57,2 %:lla opiskelijoista. Yli puolet opiskelijoista ei siis tiennyt, että kasvihuoneilmiö on maapallon luonnollinen, elämää ylläpitävä ilmiö. Virhekäsitys ilmeni suuressa osassa vastauksia hyvin suoraan ja osassa vastauksia hieman epäsuoremmin. Alla olevissa lainauksissa kasvihuoneilmiön on hyvin suoraan mainittu tarkoittavan ilmaston lämpenemistä tai lämpötilan nousua:

*”Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan maapallon ilmaston lämpenemistä.” (K14/V1)*

*"Kasvihuoneilmiö tarkoittaa tapahtumaa, jossa maapallo lämpenee. Lämpeneminen johtuu lisääntyneistä ilmansaasteista, jotka heijastavat avaruuteen pyrkivät säteilyt takaisin maanpinnalle." (K15/V2)*

*"Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan maapallon lämpötilan nousua." (K16/V9)*

Joissain vastauksissa ei välttämättä suoraan mainittu ilmaston lämpenemistä, mutta kasvihuoneilmiön ajateltiin johtuvan ihmisen toiminnasta tai ilmakehän lisääntyvistä kasvihuonekaasuista, kuten seuraavissa kasvihuoneilmiötä kuvailevissa vastauksissa:

*"Maapallon ilmastoon liittyvä termi tarkoittaa ilmiötä, joka on syntynyt ihmisten polttaessa aineita, jotka päästävät hyvin paljon hiilidioksidia ilmaan." (K14/V2)*

*"Kasvihuoneilmiö tarkoittaa hiilidioksidin CO<sub>2</sub> määrän lisääntymistä Maan ilmakehässä." (K15/V5)*

*"Kasvihuoneilmiö tarkoittaa ilmakehän kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, määrän runsasta lisääntymistä." (K19/V1)*

Joissain vastauksissa saatettiin myös luetella voimistuvan kasvihuoneilmiön seurauksia kasvihuoneilmiön seurauksina, kuten seuraavassa vastauksessa:

*"Kasvihuoneilmiö aiheuttaa lämpötilojen nousun lisäksi mm. jäätiköiden sulamista ja sitä kautta merenpinnan nousua, merivesien lämpötilan nousua, joka johtaa osan kasvi- ja eläinlajin häviämiseen." (K5/V14)*

Useimmiten oli melko helppo huomata, ymmärsikö opiskelija kasvihuoneilmiön ja voimistuvan kasvihuoneilmiön eron. Joillakin opiskelijoilla virhekäsitys saattoi kuitenkin olla olemassa, mutta sitä ei pystynyt selvästi havaitsemaan vastauksesta. On kuitenkin selvää, että hyvin merkittävä osa opiskelijoista sekoitti kasvihuoneilmiön ja voimistuvan kasvihuoneilmiön.

### 5.3.2 Otsonikatoon sekoittaminen

Kuten taulukosta 9 nähdään, noin neljäsosa opiskelijoista sekoitti kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen otsonikatoon. Selvästi yleisin maininta otsonikadosta oli sen tyylinen, että siinä ajateltiin hiilidioksidin, vesihöyryn tai kasvihuonekaasujen ohentavan otsonikerrosta, jolloin maapallolle pääsee enemmän säteilyä. Näin ilmaisi 51 opiskelijaa 59:stä otsonikatoon viitanneesta. Lisäksi 26 näistä 51 opiskelijasta mainitsi säteilyn lisääntymisen aiheuttavan ilmaston lämpenemistä tai kasvihuoneilmiön voimistumista. Alla on esimerkkejä näistä vastauksista:

*"Hiilidioksidi on haitallinen, koska hajotessaan ilmakehässä se pystyy hajottamaan meitä UV-säteilyltä suojaavaa otsonia. Otsonin hajoaminen lisää siis maan*

*pinnalle saapuvan säteilyn määrää ja näin kiihdyttää kasvihuoneilmiötä entisestään.” (K10/V5)*

*”Ilmakehän vesihöyryä on tehtaiden takia muodostunut liikaa, minkä takia se on ruvennut tuhoamaan otsonikerrosta. Otsonikerroksen tehtävä on estää auringosta tulevan UV-säteilyn pääsy maahan. Liika UV-säteily nopeuttaa ilmaston lämpenemistä.” (K18/V11)*

Vastaukset, joissa otsonikadon aiheuttaman säteilyn lisääntymisen ei suoraan mainittu aiheuttavan ilmaston lämpenemistä tai kasvihuoneilmiön voimistumista olivat seuraavien vastausten tyyppisiä:

*”Lisääntynyt hiilidioksidi tuhoaa maapallon otsonikerrosta, jolloin auringon lämmöstä pääsee suurempi määrä maapallon ilmakehään.” (K3/V1)*

*”Ilmakehässä kuuluukin olla luonnostaan hiilidioksidia, mutta kun sinne kerääntyy ihmisen toiminnasta lisää hiilidioksidia, niin sitä kerääntyy sinne liian nopeasti. Tämän takia ilmakehän suoja kuori eli otsonikerros heikkenee, mikä aiheuttaa sen, että ilmakehään pääsee enemmän säteilyä. Ongelmana ei olisi niin suuri, mutta kun säteily ei lähde ilmakehästä sitten enää pois tarpeeksi tehokkaasti. Tämä taas nostaa ilmaston lämpötilaa merkittävästi.” (K8/V6)*

*”Hiilidioksidin lisääntyminen tuhoaa otsonikerrosta, jonka takia valon säteet pääsevät helpommin maan pinnalle. Se myös estää heijastuneiden säteiden pääsemisen takaisin avaruuteen.” (K5/V2)*

Kuten kahdessa edellisessä vastauksessa, opiskelijat yhdistivät otsonikadon aiheuttamaan lisääntyvään säteilyn määrään usein poistuvan säteilyn kulun estymisen, eli mekanismista tiedettiin kuitenkin edes jotakin.

Suurena virheenä 51 vastauksessa oli se, että niissä ajateltiin hiilidioksidin, vesihöyryn tai yleisesti kasvihuonekaasujen aiheuttavan otsonikerroksen ohenemista, mikä on väärä ajatus. Osassa vastauksissa otsonikadon sekoittaminen kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen ilmeni selkeästi niistä puhuttaessa. Kuitenkin joissain vastauksissa, kuten yllä esitetyssä koulun 3 vastauksessa 1, ei puhuttu kasvihuoneilmiöstä tai ilmaston lämpenemisestä, vaan ainoastaan lisääntyneestä hiilidioksidista. Koska lisääntynyt hiilidioksidin määrä aiheuttaa voimistuvaa kasvihuoneilmiötä, voidaan edellä mainitun kaltaisissa vastauksissakin nähdä selvä yhteys otsonikadon ja ilmaston lämpenemisen sekoittamisessa. Yhteys voidaan nähdä myös siksi, että vastaukset olivat kokeen kysymyksiin, jotka koskivat kasvihuoneilmiötä tai ilmaston muuttumista.

Loput 8 vastausta 59:stä, joissa otsonikato sekoitettiin kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen, olivat hieman erilaisia. Otsonikerroksen ohenemisen saatettiin ajatella aiheuttavan ilmaston lämpenemistä, ja yksittäisessä vastauksessa kasvihuoneilmiön mainittiin aiheuttavan otsonikatoa. Lisäksi osa kaikista, jotka puhuivat otsonikadosta, ajattelivat kasvihuoneilmiön olevan sama asia kuin otsonikato. Alla on ote tällaisesta a-kohdan vastauksesta:

*”Se [kasvihuoneilmiö] tarkoittaa sitä, että maapalloa suojaava otsonikerros päästää enemmän valonsäteitä auringosta maapallolle.” (K5/V7)*

59 vastauksen lisäksi 4 vastauksessa oletettavasti tarkoitettiin hiilidioksidin aiheuttamaa otsonikatoa, vaikka otsonia ei käsitteenä mainittukaan. Jos nämä vastaukset lasketaan mukaan, niin otsonikadon sekoitti kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen yhteensä noin 25,9 % opiskelijoista.

### 5.3.3 Muihin ympäristöhaittoihin yhdistäminen

Kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen sekoittaminen otsonikatoon oli selvästi yleisempää kuin sekoittaminen muihin ympäristöhaittoihin. Opiskelijoista 16,5 % sekoitti kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen yhteen tai useampaan ympäristöhaittaan, joita olivat taulukon 10 mukaisesti saasteet, happosateet tai happamoituminen sekä rehevöityminen. Saasteisiin sekoittaminen oli yleisintä, kun taas rehevöityminen mainittiin vain kaksi kertaa, joista molemmilla kerroilla hiilidioksidin ajateltiin aiheuttavan kasvien liikakasvua eli rehevöitymistä.

**Taulukko 10.** *Opiskelijoiden kasvihuoneilmiöön ja ilmaston lämpenemiseen sekoittamat ympäristöhaitat eri vastauksissa (N = 243).*

Ympäristöhaitta	Vastausten määrä	Prosenttiosuus (%)
Saasteet	25	10,3
Happosateet / happamoituminen	17	7,0
Rehevöityminen	2	0,8
Yksi tai useampi ympäristöhaitta	40	16,5

Saasteisiin liittyen yleisin virhekäsitys opiskelijoilla oli, että hiilidioksidi olisi saaste. Näitä ilmeni 11 vastauksessa 25:stä. Lisäksi 10 vastauksessa saasteiden mainittiin estävän poistuvan säteilyn kulkua, eli saasteet sekoitettiin kasvihuonekaasuihin. Alla on esimerkit näistä vastauksista:

*”Ihmisten tekemiset aiheuttavat saasteita, joista eräs on hiilidioksidi.” (K18/V5)*



*”Kasvihuoneilmiö tarkoittaa tapahtumaa jossa maapallo lämpenee. Lämpeneminen johtuu lisääntyneistä ilmansaasteista, jotka heijastavat avaruuteen pyrkivät säteilyt takaisin maanpinnalle.” (K15/V2)*

Muutamassa vastauksessa mainittiin ainoastaan saasteiden aiheuttavan ilmaston lämpenemistä, tai saasteiden ajateltiin ohentavan otsonikerrosta, minkä nähtiin johtavan ilmaston lämpenemiseen.

7,0 % opiskelijoista yhdisti happosateet tai happamoitumisen kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen. Suurin osa näistä opiskelijoista ajatteli hiilidioksidin tai kasvihuonekaasujen aiheuttavan happosateita tai happamoitumista, jotka vahingoittavat luontoa. Alla on kaksi esimerkkiä vastauksista:

*”Lisääntynyt hiilidioksidi vaikuttaa luontoa vahingoittavien happosateiden määrän kasvuun, joka vaikuttaa hiiltä ilmasta sitovan kasvillisuuden määrään, ja näin osaltaan vaikuttaa hiilidioksidin määrään ilmassa, ja voimistaa kasvihuoneilmiötä.” (K12/V11)*

*”Kasvihuonekaasut voivat kuitenkin liittyä näihin kaasumaisiin vesimolekyyleihin, jolloin syntyy ns. happosateita, missä veden sijasta pilvessä tiivistyy jokin happo, Nämä happosateet aiheuttavat paljon tuhoa maaperäämme.” (K2/V7)*

Koska pääasiassa hiilidioksidi nähtiin happosateiden aiheuttajana, eivät näin ajatelleet opiskelijat ymmärtäneet happosateiden todellisia aiheuttajia sen lisäksi, etteivät ymmärtäneet hiilidioksidin vaikutusta ympäristölle.

### **5.3.4 Kasvihuonekaasuihin liittyvät virheelliset tiedot**

Kuten taulukosta 9 nähdään, kasvihuonekaasuihin liittyviä virheellisiä tietoja esiintyi 24,3 %:lla opiskelijoista. Taulukossa 11 on esitetty kasvihuonekaasuihin liittyvien virheellisten tietojen jakautuminen kuuteen luokkaan. Suurimman luokan muodostavat vastaukset, jotka olivat keskenään melko erilaisia siten, ettei niistä pystynyt löytämään merkittäviä yhtäläisyyksiä. Muidenkin vastausten luokittelussa tehtiin pieniä karkeistuksia, jotta niistä pystyttiin muodostamaan järkeviä ryhmiä.

**Taulukko 11.** Opiskelijoiden virhekäsitykset kasvihuonekaasuista eri vastauksissa (N = 243).

Kasvihuonekaasuihin liittyvä virhekäsitys	Vastausten määrä	Prosenttiosuus (%)
Vääriä kasvihuonekaasuja mainittu.	2	0,8
CO <sub>2</sub> on merkittävin / ainoa kasvihuonekaasu.	5	2,1
Kasvihuonekaasut ovat hiukkasia / toimivat tiivistymisytiminä.	18	7,4
Vesihöyry vaikuttaa viilentävästi.	12	4,9
CO <sub>2</sub> / H <sub>2</sub> O paksuntavat ilmakehää.	6	2,5
Muut asiat.	22	9,1
Yksi tai useampi virhekäsitys.	59	24,3

Vääriä kaasuja kasvihuonekaasuiksi mainitsi vain 0,8 % opiskelijoista. Kuten luvussa 5.1 nähtiin, muita kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidin tai vesihöyryn mainitsi vain noin neljäsosa opiskelijoista, ja näistäkin suurin osa mainitsi metaanin. Ei siis ole yllättävää, että myös vääriä kasvihuonekaasuja mainittiin vähän. Koska tehtävänannossa ei käsketty luetella kasvihuonekaasuja, ei väärin kasvihuonekaasujen mainitsijoiden määrä kerro todellista määrää siitä, kuinka moni todellisuudessa pitää vääriä kaasuja kasvihuonekaasuina. Myöskin vain 2,1 % opiskelijoista mainitsi hiilidioksidin ainoaksi tai merkittävimmäksi kasvihuonekaasuksi, kuten alla olevassa otteessa:

*”Hiilidioksidi on planeettamme merkittävin kasvihuonekaasu.” (K5/V9)*

Vaikka hyvin harva toi ilmi, että ajatteli hiilidioksidin olevan ainoa tai merkittävin kasvihuoneilmiötä aiheuttava kaasu, niin monella saattoi silti olla tämä virhekäsitys. Joissain vastauksissa nimittäin mainittiin kasvihuonekaasuista ainoastaan hiilidioksidi, mutta jos opiskelija ei suoraan maininnut pääasiassa hiilidioksidin aiheuttavan kasvihuoneilmiötä, niin sellaista tulkintaa ei epäselvistä tilanteista tehty.

7,4 % opiskelijoista ajatteli kasvihuonekaasujen olevan hiukkasia tai toimivan pilvien tiivistymisytiminä. Tällöin joko kasvihuonekaasujen olomuotoa ei oltu ymmärretty, tai hiukkasista puhuttaessa voitiin tarkoittaa esimerkiksi molekyyliä. Puhuttaessa tiivistymisytimistä kasvihuonekaasut sekoitettiin aerosoleihin, jotka todellisuudessa toimivat pilvien tiivistymisytiminä. Alla on kaksi esimerkkiä vastauksista:

*”Kasvihuoneilmiö johtuu siitä, että suuri osa auringon säteilystä ei pääse ulos maapallon ilmakehän läpi, vaan heijastuu takaisin maan pintaan, ilmakehässä olevien pienhiukkasten takia. - - Yksi merkittävä heijastuksen aiheuttava pienhiukkanen on hiilidioksidi.” (K12/V14)*

*"Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa ilmakehän kasvihuonekaasut ja muut hiukkaset estävät lämmön ja lämpösäteilyn karkaamista avaruuteen. - - Hiilidioksidin runsas määrä voi myös lisätä sateiden määrää antamalla enemmän mahdollisia tiivistymispintoja, jolloin sää erityisesti kylmemmillä alueilla leutonee."*  
(K1/V19)

Yllä olevassa vastauksessa olevan kaltainen ilmaus "kasvihuonekaasut ja muut hiukkaset" ilmeni myös useassa muussa vastauksessa.

Kuten jo aiemmin mainittiin, tässä työssä ei tarkastella sitä, että tietävätkö opiskelijat vesihöyryn toimivan kasvihuonekaasuna. Useat opiskelijat puhuivat vesihöyryn vaikutuksista ilman, että he mainitsivat vesihöyryllä olevan vaikutusta kasvihuoneilmiössä. Tällaisista vastauksista ei kuitenkaan voinut päätellä opiskelijoiden tietämystä vesihöyrystä kasvihuonekaasuna. Sellaiset maininnat olivat kuitenkin selkeitä virhekäsityksiä, joissa mainittiin suoraan vesihöyryn viilentävän ilmastoa tai vaikeuttavan auringon säteilyn pääsyä maanpinnalle, kuten seuraavissa esimerkeissä:

*"Ilmakehän vesihöyry varaa lämpöä ja hajottaa auringonsäteitä viilentäen ilmastoa alapuolella."* (K10/V14)

*"Vesihöyry estää auringon lämpöä ja näin pitää ilmastoa viileämpänä."* (K3/V2)

Vesihöyryn viilentävästä vaikutuksesta mainittiin 4,9 %:ssa vastauksista, eli on selvää, että osa opiskelijoista ei tiennyt vesihöyryn olevan kasvihuonekaasu.

2,5 %:ssa vastauksista ajateltiin, että hiilidioksidi tai vesihöyry jollain tavalla paksuntaa tai tihentää ilmakehää, jolloin säteilyn kulku heikkenee. Alla on esimerkki tällaisesta vastauksesta:

*"Ilmakehään muodostuu hiilidioksidia, joka tekee ilmasta paksumpaa. Kun ilma on paksumpaa, maaperästä heijastuneet auringon säteet eivät pääse pois ja alkavat lämmittämään maanpintaa."* (K6/V12)

Lisäksi 9,1 %:ssa vastauksista oli erilaisia virhekäsityksiä kasvihuonekaasuista. Tällaisia olivat muun muassa seuraavat maininnat:

*"Lisääntynyt hiilidioksidi sitoo ilmakehän happimolekyylejä, jolloin säteily pääsee paremmin maapallolle, kun avaruudesta tulevaa säteilyä on estämässä vähemmän happimolekyylejä."* (K5/V15)

*"Hiilidioksidi on muuta ilmaa raskaampaa ja se jää alailmakehään aiheuttaen lämpenemistä ja ilmakehän koostumus muuttuu."* (K9/V13)

Vastaukset olivat yksittäisiä, ja kasvihuonekaasut olivat niissä ainoana merkittävänä yhdistävänä tekijänä.

### 5.3.5 Epäloogiset virhekäsitykset

Kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen liittyviä epäloogisia virhekäsityksiä ilmeni yhteensä 12,8 %:lla opiskelijoista. Tässä määrässä on otettu huomioon sekä 0-kategoriaan luokiteltujen mekanismien epäloogisuudet että muiden vastausten erilliset epäloogisuudet. Vastauksissa, jotka luokiteltiin mekanismin mukaan muihin kuin 0-kategoriaan, ilmeni epäloogisia virhekäsityksiä 16 vastauksessa, ja lisäksi muita kuin otsonikatoon sekoittavia 0-kategorian vastauksia oli 15 kappaletta. Yhteensä siis 31 vastauksessa ilmeni yksi tai useampi epälooginen virhekäsitys. Mainituissa 16 vastauksesta 7:ssä mainittiin otsoni jollain muulla tavalla kuin otsonikatoon liittyen. Useimmiten otsonikerroksen ajateltiin lisääntyvän, jolloin enemmän poistuvaa säteilyä heijastuu takaisin maanpinnalle, kuten alla olevassa vastauksessa:

*”Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan otsoni kerroksen lisääntymistä, jonka seurauksena maapallon lämpötila kohoaa. - - Kasvihuoneilmiössä ilmakehän otsoni kerros kärsii ja maapallolta säteilevä lämpö heijastuu takaisin.” (K11/V6)*

Toinen useamman kerran ilmenevä epäloogisuus oli sen kaltainen, että ihmisen ajateltiin tuottavan aiempaa enemmän lämpöä, joka aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Tämä ajatus ilmeni 4 vastauksessa, ja alla on esimerkki tällaisesta:

*”Hiiltä poltettaessa vapautuu paljon lämpöä, mikä leviää ympäristöön sitä lämmitämään.” (K1/V3)*

Muut epäloogiset virhekäsitykset olivat yksittäisiä, eikä niistä löytynyt merkittäviä yhtäläisyyksiä. Yhdessä vastauksessa kasvihuoneilmiö yhdistettiin maapallon magneettikenttään, jonka ajateltiin pitävän kasvihuonekaasuja sisällään. Epäloogisena asiana ilmeni myös ajatus, että ilmakehä olisi erillinen lämpösäteilyä absorboiva tekijä kuin kasvihuonekaasut. Eräässä vastauksessa ilmakehän mainittiin myös ohenevan kasvihuonekaasujen vaikutuksesta.

## 5.4 Luotettavuustarkastelu

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa käytetään usein luotettavuuden arviointiin käsitteitä validiteetti ja reliabiliteetti. Koska tämä tutkimus tehtiin pääasiassa laadullisesti käyttäen sisällönanalyysejä, luotettavuutta voidaan arvioida paremmin uskottavuuden (engl. credi-

bility), siirrettävyyden (engl. transferability), luotettavuuden (engl. dependability) ja vahvistettavuuden (engl. confirmability) kriteerien avulla. Tutkimuksen uskottavuuden kannalta ovat oleellisia tutkijan tekemät tulkinnat tutkittavien käsityksistä. (Tuomi, Sarajärvi 2018) Tässä tutkimuksessa uskottavuutta voi jossain määrin heikentää tutkittavien vastausten tulkinnanvaraisuus erityisesti kasvihuoneilmiön mekanismin tarkastelussa, sillä joissain vastauksissa asioita selitettiin hieman epämääräisesti, jolloin lukija joutui tekemään omat päätelmänsä vastauksen merkityksestä. Tulkinnanvaraisuutta lisäsi myös joissain vastauksissa ilmenevät huonot käsialat, jolloin kaikista sanoista ei välttämättä saanut täysin selvää. Lisäksi opiskelija oli saattanut vahingossa ilmaista asiansa siten, että vastauksesta sai eri käsityksen kuin mitä hän oli tarkoittanut. On myös mahdollista, että opiskelija oli ymmärtänyt asian, mutta hänellä oli ollut vaikeuksia tuottaa vastaus kirjoitettuun muotoon.

Kuten luvussa 4.2 mainittiin, tutkimusaineiston otoksena toimi noin 5,5 % kaikista ylioppilaskokeen tehtävän 13 vastauksista. Koska otos oli kohtalaisen kattava, ja vastauksia oli eri kokoisista lukioista eri puolilta Suomea, voidaan sen katsoa edustavan hyvin kaikkia vastauksia. Näin ollen tutkimustulokset ovat pääosin siirrettävissä koskemaan kaikkia ylioppilaskokeissa fysiikan kirjoittaneita abiturientteja. Siirrettävyys kuitenkin paranisi, jos otosta kasvatettaisiin, mutta se todennäköisesti vaikuttaisi ainoastaan tulosten prosenttiosuuksiin, eikä juurikaan havaittuihin kategorioihin ja virhekäsityksiin. Tutkittavan kohdeyhmän oletettiin saaneen perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmien mukaista opetusta erityisesti fysiikassa ilmastoa koskevista asioista, mutta kuten luvussa 3.2 nähtiin, kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä opettaminen jakautuu eri vuosiluokille ja eri oppiaineiden yhteyteen. Näin ollen tämän tutkimuksen tulokset voisivat jossain määrin olla siirrettäviä ainakin joitain luonnontieteitä opiskelleiden lukiolaisten joukkoon. Lisäksi alkuvaiheen korkeakouluopiskelijoilla voidaan katsoa olevan suhteellisen samankaltainen tietämys kuin abiturienteilla, joten tutkimustulokset voisivat olla siirrettävissä koskemaan myös jonkin verran luonnontieteitä opiskelleita korkeakouluopiskelijoita.

Tutkimuksen luotettavuutta parantaa sen huolellinen ja tarkka dokumentointi, jossa on kerrottu aineiston analysoinnin toteutuksesta. Vahvistettavuutta sen sijaan lisää se, että ulkopuoliset henkilöt ovat tarkastaneet työn (Tuomi, Sarajärvi 2018) sekä se, että aiempien tutkimusten (mm. Andersson, Wallin 2000) tulokset tukevat saatuja tuloksia. Tätä tarkastellaan kuitenkin tarkemmin vasta seuraavassa luvussa. Vahvistettavuutta voi heikentää tutkijan subjektiivisuus, jos oikeita ja vääriä käsityksiä ei oltu määritelty absoluutisesti. Tähän liittyy vastausten tulkinnanvaraisuus, jolloin eri tutkijat saattaisivat tehdä erilaisia luokituksia. Tutkijan vaikutusta voidaan arvioida siten, että toinen tutkija tekee

tutkimusaineistolle tai sen osalle rinnakkaisluokittelun, ja luokitteluille voidaan laskea yksimielisyyskerroin. Tämän työn puitteissa rinnakkaisluokittelua ei kuitenkaan ollut mahdollista toteuttaa. Lisäksi yksittäisen henkilön taulukoidessa tuloksia ovat näppäilyvirheet olleet mahdollisia. Jokaisen kokelaan kohdalle laitettiin useiden sarakkeiden kohdalle merkintöjä, jolloin on saattanut tulla huolimattomuusvirheitä. Tätä pyrittiin kuitenkin estämään tarkkaavaisella työskentelyllä ja merkintöjen tarkastamisella.

Tutkimusaineiston luotettavuutta lisää se, että ylioppilaskokeiden tehtäviin vastataan yleensä niin hyvin kuin osataan, sillä koetulokset voivat vaikuttaa merkittävästi nuorten tulevaisuuteen. Näin ollen vastausten pitäisi kuvata hyvin totuudenmukaisesti opiskelijoiden tietämystä kasvihuoneilmioista ja ilmaston lämpenemisestä. Vastausten luotettavuutta voi toisaalta heikentää se, jos opiskelijat eivät koeajan puitteissa ehtineet vastata tehtävään niin perusteellisesti kuin olisivat osanneet. Aineiston luotettavuutta lisää myös sen kvalitatiivinen luonne: opiskelijat eivät voineet arvata oikeita vastauksia monivalinta-tehtävien tapaan (mm. Laine 2015), vaan heidän täytyi tuottaa vastaukset omien tietojensa perusteella.

## 6. POHDINTA

Tässä luvussa tarkastellaan saatuja tuloksia, verrataan niitä aiempien tutkimusten tuloksiin, pohditaan syitä opiskelijoiden heikkoon tietämykseen sekä mietitään, kuinka opetusta voisi parantaa. Luvussa 6.1 tarkastellaan kasvihuonekaasuihin liittyviä tuloksia sekä luonnollisen ja voimistuvan kasvihuoneilmiön sekoittamista. Luvussa 6.2 keskitytään kasvihuoneilmiön mekanisme koskeviin tuloksiin, ja luvussa 6.3 tarkastellaan tuloksia, jotka liittyvät otsonikatoon, muihin ympäristöhaittoihin sekä epäloogisiin asioihin.

### 6.1 Kasvihuonekaasut sekä luonnollinen ja voimistuva kasvihuoneilmiö

Kuten tuloksista nähdään, suurin osa opiskelijoista tiesi kasvihuoneilmiöllä olevan maapalloa lämmittävä vaikutus. Toisaalta yli puolet opiskelijoista sekoitti kasvihuoneilmiön voimistuvaan kasvihuoneilmiöön, jolloin suuri osa opiskelijoista todennäköisesti ajatteli kasvihuoneilmiön lämmittävän vaikutuksen olevan sama asia kuin ilmaston lämpeneminen. Sekoittamista ilmeni myös useissa aiemmissa tutkimuksissa, kuten Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa, jossa noin puolet opiskelijoista sekoitti luonnollisen ja voimistuvan kasvihuoneilmiön. Ilmiöiden sekoittamiseen voi yhtenä syynä olla median käyttämät ristiriitaiset ilmaisut (Andersson, Wallin 2000). On myös mahdollista, että kouluissa ei tarpeeksi selvästi tehdä eroa luonnollisen kasvihuoneilmiön ja ihmisen aiheuttaman voimistuvan kasvihuoneilmiön välillä, sillä asioista saatetaan puhua samoissa yhteyksissä.

Noin puolet opiskelijoista osasi mainita a-kohdan vastauksessa käsitteen kasvihuonekaasut, ja kasvihuoneilmiöön vaikuttavina kaasuina puhuttiin usein hiilidioksidista ja vesihöyrystä. Lähes neljännes opiskelijoista mainitsi lisäksi metaanin, mutta muita kasvihuonekaasuja tiedettiin hyvin heikosti. Myös eri ikäisistä yhdysvaltalaisista ja kreikkalaisista opiskelijoista suurin osa ei osannut nimetä muita kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidin (Papadimitriou 2004, Shepardson et al. 2011). Vaikka tässäkin tutkimuksessa eri kasvihuonekaasujen tietäminen oli melko heikkoa, voidaan katsoa, että metaani osattiin mainita aiempia tutkimuksia paremmin. Kuitenkin myös Nevanpään (2005) tutkimuksen 9. luokkalaisista yli puolet tunnistivat metaanin hiilidioksidin ohella kasvihuonekaasuksi, mutta lisäksi kasvihuonekaasuiksi ajateltiin useita vääriä kaasuja. Tässä tutkimuksessa vääriä kasvihuonekaasuja mainitsi vain alle prosentti vastaajista.

Dawsonin (2015) tutkimuksessa lähes 20 % oppilaista ajatteli hiilidioksidin olevan ainoa kasvihuonekaasu. Tässä tutkimuksessa saatiin tulokseksi, että vain 2,1 % opiskelijoista

ajatteli hiilidioksidin olevan ainoa tai merkittävin kasvihuonekaasu. Tulos on siis selvästi parempi kuin Dawsonin (2015) tutkimuksessa, mutta on mahdollista, että useammalla opiskelijalla oli mainittu virhekesitys kuin mitä vastauksista ilmeni. Mediassa puhutaan useimmiten ilmastonmuutoksesta sekä siihen liittyen hiilidioksidista, mistä voi johtua opiskelijoiden käsitys hiilidioksidista ainoana kasvihuonekaasuna. Lisäksi lähes 5 % opiskelijoista mainitsi vesihöyryn toimivan ilmastoa viilentävästi, mutta suurempi osa ei todennäköisesti tiennyt vesihöyryn olevan kasvihuonekaasu. Väärät ajatukset vesihöyrystä eivät ole yllättäviä, sillä useissa aiemmissa tutkimuksissa on tullut ilmi, että harvat tietävät vesihöyryn olevan kasvihuonekaasu. Nevanpään (2005) ja Laineen (2015) tutkimuksissa virhekesitys oli yli 80 %:lla oppilaista. Nevanpään tutkimuksessa 9. luokkalaisten tietämys vesihöyrystä parani kuitenkin huomattavasti opetusjakson aikana, joten tästä voidaan päätellä, että opetuksella on suuri merkitys. Voi olla, että vesihöyrystä tiedetään huonosti siksi, että se ei ole keskeisin ilmaston lämpenemistä aiheuttava kaasu. Vesihöyryn palauteilmiön takia siitä tietäminen olisi kuitenkin tärkeää ilmastonmuutoksesta ymmärtämisenkin kannalta.

## 6.2 Kasvihuoneilmiön mekanismi

Saadut tulokset opiskelijoiden käsityksistä kasvihuoneilmiön mekanismista ovat melko samankaltaisia kuin Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksen tulokset tarkasteltaessa erityisesti tutkimuksen 12-luokkalaisia. Sekä tässä että Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa vain pieni osa opiskelijoista tiesi maapallolle tulevan ja sieltä lähtevän säteilyn olevan erilaista. Myös muut tutkimukset osoittavat, että säteilyjen ero tiedetään varsin huonosti (mm. Papadimitriou 2004, Ratinen 2011). Tässä sekä Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa eniten opiskelijoita sijoittui kategoriaan, jossa puhuttiin ainoastaan Auringosta peräisin olevasta säteilystä. Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa tämä kategoria ei ollut kuitenkaan niin selkeästi suurin kuin tässä tutkimuksessa, sillä siinä vain 24 % 12-luokkalaisten vastauksista sijoittui tähän kategoriaan, kun taas tässä tutkimuksessa 67,5 % vastauksista. Toisaalta Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksen kategorioiden, jotka vastaavat tässä tutkimuksessa kategorioita 1–5, vastausten prosenttiosuudet ovat pieniä 0-kategoriaa vastaavien vastausten suuren määrän takia.

Pelkästä maapallolta lähtevästä säteilystä puhui Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa hieman suurempi osa opiskelijoista kuin tässä tutkimuksessa. Sen sijaan kasvihuonekaasujen tai hiilidioksidin itsessään ajatteli aiheuttavan lämmittävää vaikutusta molemmissa tutkimuksessa noin 3 % opiskelijoista. Tämän tutkimuksen 0-kategoriaa vastaavia vastauksia oli Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa yhteensä 46 %



vastauksista, joka on huomattavasti enemmän kuin tässä tutkimuksessa. Vaikka ikäluokka on molemmissa tutkimuksissa sama, erona 0-kategorian vastausten määrässä on ainakin se, että Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa merkittävä osa opiskelijoista ei vastannut tai tiennyt ollenkaan kasvihuoneilmiön mekanismista tai vastasi jotakin muuta. Tässä tutkimuksessa ei ollut yhtään ”en tiedä” -tyyppistä vastausta, sillä kyseessä oli vapaavalintainen tehtävä ylioppilaskokeessa.

Koska Auringon ja Maan säteilyjen erosta tiedettiin huonosti, on selvää, että opiskelijat eivät joko olleet ymmärtäneen mustan kappaleen säteilyä tai eivät olleet osanneet yhdistää sitä kasvihuoneilmiöön. Mustan kappaleen säteily kuului keskeisenä sisältönä fyziikan kahdeksannelle kurssille (LOPS 2003, s. 148), joten opiskelijoilla olisi pitänyt olla siitä tarvittavat tiedot. Ei voida kuitenkaan tietää, minkä oppiaineen yhteydessä opiskelijat saivat eniten opetusta kasvihuoneilmiöstä, jolloin kasvihuoneilmiön käsittelyn yhteydessä ei välttämättä puhuttu säteilyjen eroavaisuudesta. Säteilystä huonosti tietäminen onkin yksi osoitus siitä, miksi kasvihuoneilmiöstä ja ilmastomuutoksesta voisi olla hyvä opettaa kokonaisuuksina, eikä eri oppiaineisiin siroteltuna.

Andersson ja Wallin (2000) eivät tutkineet kasvihuoneilmiön mekanismin yhteydessä opiskelijoiden ymmärrystä säteilyn absorboitumisesta. Muut tutkimukset osoittavat kuitenkin, että säteilyn absorboituminen ymmärretään heikosti (mm. Ekborg, Areskoug 2006, Ratinen 2008, Reinfried et al. 2012). Ekborgin ja Areskougin (2006) tutkimuksen luokanopettajaopiskelijoista vain 14 % puhui vastauksessaan säteilyn absorboitumisesta kyselyssä, joka pidettiin kasvihuoneilmiötäkin koskevan ensimmäisen luonnontieteiden opetusjakson jälkeen. Näin ollen tämän tutkimuksen tulokset säteilyn absorboitumisen ymmärtämisen osalta eivät juurikaan poikkea aiemmista, kun vain noin 12,6 % opiskelijoista tiesi säteilyn absorboituvan ilmakehässä. Vaikka hieman useampi kuin yksi kymmenestä puhui säteilyn absorboitumisesta tai sitoutumisesta kasvihuonekaasuihin, todennäköisesti vielä harvempi tiesi, mihin absorboituminen perustuu. Kuten myös Ratinen (2008) tutkimuksessaan mainitsee, kasvihuonekaasujen ominaisuudet ja infrapunasäteilyn absorboituminen ovat merkittävässä osassa kasvihuoneilmiötä ja ilmaston lämpenemistä, joten niitä kannattaisi aiempaa enemmän painottaa myös opetuksessa.

Suurella osalla tutkimuksen vastauksista poistuvan säteilyn kulun estymisen ajateltiin johtuvan kasvihuonekaasuista tai jostakin kasvihuonekaasusta. Muiksi syiksi mainittiin muun muassa molekyylit, hiukkaset, otsonikerros ja ilmansaasteet. Anderssonin ja Wallinin (2000) tutkimuksessa säteilyn kulun ajateltiin estyvän huomattavasti useammin jostakin muusta kuin kasvihuonekaasuista tätä tarkemmin avaamatta, ja kasvihuonekaasuista estymisessä puhuttiin ilmeisesti useimmiten ainoastaan hiilidioksidista. Ei siis ole

yllättävää, että tässäkin tutkimuksessa säteilyn ajateltiin estyvän usein muusta kuin kasvihuonekaasuista, mutta kaiken kaikkiaan kasvihuonekaasut ja yksittäisiä oikeita kaasuja mainittiin aiempaa paremmin. Eri tutkimuksissa havaittiin myös oppilaiden ajattelevan, että säteilyn kulku estyy saasteiden takia (mm. Nevanpää 2005, Reinfried et al. 2012). Tämän tutkimuksen vastauksista käy ilmi, että saasteista puhuttaessa opiskelijat saattoivat tarkoittaa kasvihuonekaasuja, mutta käyttivät siitä väärää termiä, tai sitten he saattoivat tarkoittaa jotain aivan muuta, jolloin heillä oli väärä käsitys kasvihuoneilmiön aiheuttajista.

Tässä tutkimuksessa 28 % opiskelijoista vertasi kasvihuoneilmiötä oikean kasvihuoneen toimintaan, mikä on aiempiin tutkimuksiin verrattuna melko paljon. Ratisen (2008) tutkimuksessa kasvihuoneanalogiaa ilmeni 10,2 %:lla luokanopettajaopiskelijoista, ja Shepardsonin et al. (2011) tutkimuksessa vain 8 %:lla oppilaista. Toisaalta jopa 25 % yhdysvaltalaisista oppilaista ajatteli kasvihuoneilmiön tarkoittavan ainoastaan oikean kasvihuoneilmiön toimintaa (Shepardson et al. 2011), ja tällaisia vastauksia ei ilmennyt ollenkaan tässä tutkimuksessa. Ratisen (2008) tutkimuksessa kasvihuoneanalogiaan liittyi käsitys kasvihuonekaasujen ja muiden aineiden muodostamasta kerroksesta ilmakehässä. Tässä tutkimuksessa virhekäsitys kerroksesta tai kasvihuonekaasujen sijoittumisesta yläilmakehään ilmeni 16,5 %:lla opiskelijoista, joka on hieman enemmän kuin Ratisen (2008) tutkimuksessa. Ratisen (2008) mukaan kasvihuoneilmiön opetuksessa maantieteessä viitataan usein oikeaan kasvihuoneeseen. Tällöin opiskelijoille syntyy helposti ajatus kasvihuoneanalogiasta ja kasvihuonekaasujen muodostamasta kerroksesta. Kasvihuoneilmiön opetuksessa tulisikin panostaa parempiin mallikuviiin ja välttää liian yksinkertaistettujen tai virheellisten tietojen opettamista, että opiskelijat saisivat oikean kuvan kasvihuoneilmiöstä. Alakoulussa yksinkertaistuksia toki täytyy tehdä, mutta sielläkin opetuksessa pitäisi välttää vääriä malleja, jotta tarkentavien tietojen oppiminen myöhemmin olisi helpompaa.

### **6.3 Otsonikatoon, muihin ympäristöhaittoihin ja epäloogisiin asioihin sekoittaminen**

Kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen sekoittamista otsonikatoon ilmeni hyvin useissa aiemmissa kasvihuoneilmiön ymmärtämistä koskevissa tutkimuksissa, mutta virhekäsityksen ilmenemismäärät vaihtelevat (mm. Groves, Pugh 1999, Andersson, Wallin 2000, Lin 2017). Tässä tutkimuksessa 24,3 % opiskelijoista sekoitti kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen otsonikatoon, ja useimmiten hiilidioksidin, vesihöyryn tai kasvihuonekaasujen ajateltiin ohentavan otsonikerrosta, jolloin maapallolle ajateltiin pääse-

vän enemmän säteilyä. Samankaltaisia selityksiä ilmeni myös muun muassa Anderssonin ja Wallinin (2000), Ratisen (2008), Dawsonin (2015) sekä Linin (2017) tutkimuksissa, joista Linin (2017) tutkimuksessa ajattelua ilmeni 27 %:lla oppilaista, joka on lähimpänä tämän tutkimuksen tulosta.

On huomattavaa, että lähes neljäsosa suomalaisista fysiikan kirjoittavista abiturienteista sekoitti kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen ja otsonikadon vielä nykyaikana, vaikka otsonikadosta on puhuttu viime vuosikymmeninä yhä vähemmän. Toisaalta tutkittavat ovat saaneet peruskoulussa opetussuunnitelman mukaan opetusta niin otsonikadosta kuin kasvihuoneilmiön voimistumisesta (POPS 2004, s. 185), ja eri koulujen painotuksista opetuksessa ei voida tietää. Otsonikato ja kasvihuoneilmiö ovat kuitenkin erillisiä ilmiöitä, joten tämän tutkimuksen tuloksista herää pieni epäily, onko ilmiöistä mahdollisesti opetettu harhaanjohtavasti samoissa yhteyksissä. Kuten Anderssonin ja Wallininkin (2000) tutkimuksessa mainitaan, otsonikadon ja ilmaston lämpenemisen sekoittaminen on hyvin loogista, ja väärinkäsitys muodostuu helposti. Näin ollen olisikin tärkeää pitää ilmiöt erillään toisistaan sekä keskittyä opetuksessa tällä hetkellä olennaiseen ilmaston lämpenemiseen ja sen taustalla olevaan kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtämiseen.

Tämän tutkimuksen opiskelijat yhdistivät kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen otsonikadon lisäksi saasteisiin, happosateisiin tai happamoitumiseen sekä rehevöitymiseen. Saasteisiin yhdistäminen oli yleisintä, ja sitä ilmeni noin 10 %:lla opiskelijoista. Aiemmissa tutkimuksissa kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen yhdistäminen saasteisiin oli kuitenkin paljon yleisempään (Papadimitriou 2004, Ratinen et al. 2012). Tässä tutkimuksessa vain 7 % opiskelijoista yhdisti happosateet tai happamoitumisen kasvihuoneilmiöön tai ilmastonlämpenemiseen, kun Ratisen (2011) tutkimuksessa osuus oli lähes puolet ja Ocalin et al. (2011) tutkimuksessa jopa 87 %. Rehevöitymiseen yhdistäminen ilmeni tässä tutkimuksessa uutena virhekäsityksenä, vaikkakin alle 1 %:lla vastaajista. Sen sijaan aiemmissa tutkimuksissa (mm. Nevanpää 2005, Ratinen 2011) esiintyneitä roskaamisen sekä ydinvoiman tai radioaktiivisen jätteen yhdistämistä kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen ei esiintynyt tässä tutkimuksessa. Kaiken kaikkiaan tässä tutkimuksessa kasvihuoneilmiö ja ilmaston lämpeneminen yhdistettiin aiempaa harvemmin eri ympäristöhaittoihin otsonikatoa lukuun ottamatta. Koska virhekäsityksiä kuitenkin edelleen ilmeni, on opetuksessa syytä olla aiempaa tarkempi myös puhuttaessa saasteista ja happosateista.

Kasvihuoneilmiöön tai ilmaston lämpenemiseen liittyviä epäloogisia virhekäsityksiä ilmeni tässä tutkimuksessa 12,8 %:lla opiskelijoista. Määrää on vaikea verrata muihin tut-

kimuksiin, sillä kategoria ei ole kovin tarkasti määritelty. Virhekäsitykset olivat joko yksittäisiä tai ne liittyivät otsoniin tai ihmisen tuottamaan ilmastomuutosta aiheuttavaan lämpöön. Myös Nevanpään (2005) ja Linin (2017) tutkimuksissa ilmaston lämpenemisen ajateltiin johtuvan ihmisen tuottamista kuumista kaasuista, ja Dawsonin (2015) tutkimuksessa otsonikerros sekoitettiin kasvihuoneilmiöön muutenkin kuin otsonikatoon liittyen. Epäloogiset virhekäsitykset viittaavat useimmiten merkittäviin puutteisiin kasvihuoneilmiön ja ilmaston lämpenemisen ymmärtämisessä. Kun epäloogisia virhekäsityksiä ilmeni lähes 13 %:lla opiskelijoista, ja yli 10 % vastauksista luokiteltiin 0-kategoriaan kasvihuoneilmiön mekanismin perusteella, on hyvin heikosti kasvihuoneilmiötä ymmärtävien opiskelijoiden määrä kohtalaisen merkittävä.

## 7. YHTEENVETO

Tutkimuksessa saadut tulokset ovat merkittäviä, sillä ne kuvaavat ensimmäisenä tutkimuksena suomalaisten lukiolaisten tietämystä kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Kaiken kaikkiaan suomalaisilla fysiikan kirjoittavilla abiturienteilla oli hyvin heikot tiedot kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Kasvihuoneilmiöllä tiedettiin olevan maapalloa lämmittävä vaikutus, mutta luonnollista kasvihuoneilmiötä ei useinkaan osattu erottaa voimistuvasta kasvihuoneilmiöstä. Alle puolet opiskelijoista osasi käyttää termiä kasvihuonekaasut kasvihuoneilmiötä koskevassa tehtävässä, ja hiilidioksidin ja vesihöyryn lisäksi kasvihuonekaasuista osattiin mainita lähinnä metaani.

Kasvihuoneilmiön mekanismin ymmärtäminen oli selvästi puutteellista. Auringon ja Maan säteilyn eron tiesi vain alle 5 % opiskelijoista, ja säteilyn absorboitumisesta puhui reilu kymmenes opiskelijoista. Näin ollen mustan kappaleen säteily, säteilyjen eroavaisuus ja kasvihuonekaasujen absorbointiominaisuudet ymmärrettiin huonosti. Kaiken kaikkiaan oikeaksi luokiteltuja mekanismeja esiintyi vain murto-osassa vastauksia. Selvästi suurin osa opiskelijoista ajatteli, että Auringosta peräisin oleva säteily pääsee maapallolle mutta ei sieltä pois. Auringon säteilyn ajateltiin usein heijastuvan maanpinnasta, minkä jälkeen uudelleen ilmakehästä takaisin kohti maanpintaa. Kun opiskelijoiden ymmärrys kasvihuoneilmiön mekanismista on puutteellista, on heidän vaikea ymmärtää kasvihuonekaasujen vaikutusta ilmakehää lämmittävänä kasvihuonekaasuina. Näin ollen opiskelijoiden on vaikea ymmärtää myöskään liiallisista kasvihuonekaasupäästöistä johtuvaa ilmaston lämpenemistä. Kun asioiden ymmärtämisen on havaittu vaikuttavan ihmisten toimintaan ilmastomuutoksen hillitsemiseksi (McNeill, Vaughn 2012) sekä auttavan mahdollisesti ilmastomuutosahdistuksen käsittelyssä (Pihkala 2018), olisi tärkeää, että suomalaisten lukiolaisten tiedot kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä nousisivat paremmalle tasolle.

Kasvihuoneilmiöön ja ilmaston lämpenemiseen liittyi myös useita virhekäsityksiä. Kasvihuoneilmiön tai ilmaston lämpenemisen sekoitti otsonikatoon lähes neljännes opiskelijoista sekä muihin ympäristöhaittoihin noin kuudesosa opiskelijoista. Kuten aiemmin mainittiin, ilmaston lämpenemisen sekoittaminen otsonikatoon on loogista, mutta virheellistä. Sen lisäksi, että opiskelijat käsittävät ilmiöt väärin, saattavat he ajatella ilmaston lämpenemisen olevan hellittämässä otsonikerroksen elpymisen myötä. Tämä virheellinen ajatus voisi johtaa toimettomuuteen ilmastomuutoksen hillitsemisessä. Näin ollen opetuksessa on tärkeää pitää ilmiöt erillään toisistaan ja keskittyä siihen, mikä on tällä hetkellä olennaisinta. Kasvihuoneilmiön ja ilmaston lämpenemisen yhdistäminen muihin

ympäristöhaittoihin ei ollut yhtä merkittävää kuin sekoittaminen otsonikatoon. Saasteista puhui noin kymmenesosa opiskelijoista, ja usein saasteista puhuttaessa käytettiin vain väärää termiä tarkoittaessa kasvihuonekaasuja.

Kasvihuonekaasuihin liittyviä erilaisia virhekäsityksiä ilmeni lähes neljänneksellä opiskelijoista. Muutama opiskelija ajatteli hiilidioksidin olevan ainoa tai merkittävin kasvihuonekaasu, ja vajaa 5 % opiskelijoista mainitsi vesihöyryn vaikuttavan viilentävästi ilmastoon. Lisäksi useat opiskelijat eivät maininneet vesihöyryn vaikutusta kasvihuoneilmiössä, ja jatkotutkimuksena voisikin selvittää, kuinka moni opiskelija oikeasti tietää vesihöyryn olevan kasvihuonekaasu. Epäloogisia virhekäsityksiä ilmeni useammalla kuin joka kymmenennellä, mutta virhekäsitykset olivat enimmäkseen yksittäisissä vastauksissa ilmeneviä. Vastauksia lukiessa sai sellaisen kuvan, että tehtävän d-kohta, jossa kysyttiin jäätiköiden sulamisen vaikutuksista, oli tiedetty melko hyvin. Jatkotutkimuksena voisikin tarkastella, kuinka hyvin opiskelijat osasivat vastata d-kohtaan, olivatko vastaukset keskimäärin parempia kuin muihin kohtiin ja jos olivat, niin miksi.

Useissa vastauksissa opiskelijan oma opettaja oli antanut enemmän pisteitä kuin yliopistolautakunnan sensori. Asiaa ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan tarkasteltu tarkemmin, mutta sitä voisi tutkia jatkossa. Analysointivaiheessa ilmeni myös, että joitain käsityksiä ilmeni enemmän tiettyjen koulujen sisällä, mikä voi mahdollisesti viitata opiskelijoiden saamaan opetukseen. Opettajien antamia pisteitä ja koulujen välisiä eroja tarkastelemalla voisi saada kuvaa lukio-opettajien käsityksistä kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Tämän lisäksi lukio-opettajien tietämystä voisi tutkia myös laajemmin ja selkeästi opettajiin kohdistuvalla tutkimuksella, jotta saataisiin selville opettajien todellinen tietämys kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä. Kun tiedetään, että opiskelijoiden ymmärrys kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä on puutteellista, asiaa pitää pystyä korjaamaan. Opettajien osaaminen on tässä merkittävässä roolissa, joten olisi hyvä tehdä tutkimusta myös aineenopettajien tietämyksestä ja panostaa opettajien täydennyskoulutukseen. Lisäksi myös opettajankoulutuksessa tuleville luonnontieteiden opettajille pitäisi antaa kokonaisvaltainen ja virheetön osaaminen kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä.

Toinen merkittävä asia opiskelijoiden tietojen lisäämisessä kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä on opetussuunnitelman muokkaaminen. Verrattuna aiempaan lukion opetussuunnitelmaan nykyisessä opetussuunnitelmassa ilmastomuutosta korostetaan enemmän, mutta toisaalta käsitettä kasvihuoneilmiö ei mainita koko opetussuunnitelmassa (LOPS 2003, LOPS 2015). Jotta asiat opetetaan, ne pitäisi lukea selkeämmin myös opetussuunnitelmassa. Kuten myös aiemmin on mainittu, kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä opetetaan usean oppiaineen yhteydessä useilla eri kursseilla.

Ilmiön käsitteleminen opetussuunnitelman mukaisena aihekokonaisuutena voisi edesauttaa asioiden parempaa ymmärrystä, mikä on myös aihekokonaisuuksien tärkeä tavoite (LOPS 2015, s. 14, 35). Vuonna 2021 lukioissa voimaan tuleva opintopisteuudistus mahdollistaa eri laajuisten kurssien järjestämisen, ja lukiokoulutukseen määrätään aiempaa selkeämmin sisällytettävän oppiainerajat ylittävää opetusta (A 810/2018, 2 §, 12 §). Näin ollen ilmastonmuutoksesta voisi muodostaa oman kurssin, johon kuuluisi ilmastonmuutoksen ja kasvihuoneilmiön oppimista niin fysiikan, kemian, maantieteen kuin muidenkin oppiaineiden näkökulmista.

Opettajien tietämyksen lisäksi olisi hyvä tutkia myös lukion ja peruskoulun eri kirjasarjojen lähestymistä kasvihuoneilmiöön ja ilmastonmuutokseen. Voitaisiin tutkia, kuinka eri kirjasarjojen käsittely poikkeaa toisistaan, millä tarkkuudella niissä opetetaan kasvihuoneilmiöstä ja ilmaston lämpenemisestä eri luokka-asteilla sekä esiintyykö etenkin peruskoulun kirjoissa malleja, jotka johtavat suoraan väärinkäsityksiin. Jotta kasvihuoneilmiö ja ilmaston lämpeneminen tulisi koulussa opetettua oikein ja yhtäläisesti, voisi olla tarpeen luoda selkeä linja ja ohjeistus, millä laajuudella ja miten milläkin luokka-asteella asioita käsitellään. Tällöin saataisiin mahdollisesti eriävät tai jopa väärät käsitykset oikeiksi ja yhteneviksi eri kirjasarjojen ja koulujen välillä. Myös kasvihuoneilmiön ja ilmaston lämpenemisen oppiainerajat ylittävään käsittelyyn voisi saada yhtenevyyden antamalla siitä ohjeet niin peruskouluun kuin lukioonkin.

## LÄHTEET

Abitreenit. 2017 kevät: fysiikka. Yle. Viitattu 23.5.2019. Saatavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2017/02/24/2017-kevat-fysiikka>

ANDERSSON, B. and WALLIN, A., 2000. Students' Understanding of the Greenhouse Effect, the Societal Consequences of Reducing CO<sub>2</sub> Emissions and the Problem of Ozone Layer Depletion. *Journal of Research in Science teaching*, **Vol. 37**.

BLAKEMORE, E., 2016. The Ozone Hole Was Super Scary, So What Happened To It?. *Smithsonian*.

CLINE, W.R., 1991. Scientific Basis for the Greenhouse Effect. *The Economic Journal*, **101**(407), pp. 904-919.

DAWSON, V., 2015. Western Australian High School Students' Understandings about the Socioscientific Issue of Climate Change. *International Journal of Science Education*, **37**(7), pp. 1024-1043.

EKBORG, M. and ARESKOU, M., 2006. How student teachers' understanding of the greenhouse effect develops during a teacher education programme. *Nor-DiNa*, **5**, 5.

FORSELL, P., 2012-last update, Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkojulkaisu]. ISSN=1797-6049. 2012, Liitekuvio 2. Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2012. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu 8.3.2019]. Saatavissa: [http://tilastokeskus.fi/til/khki/2012/khki\\_2012\\_2014-04-15\\_kuv\\_002\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/khki/2012/khki_2012_2014-04-15_kuv_002_fi.html)

GROVES, F.H. and PUGH, A.F., 1999. Elementary Pre-Service Teacher Perceptions of the Greenhouse Effect. *Journal of Science Education and Technology*, **8**(1), pp. 75-81.

HALLITUSTENVÄLINEN ILMASTONMUUTOSPANEELI (IPCC), 2007. *Ilmastomuutos v. 2007: Luonnontieteellinen perusta. Yhteenveto päätöksentekijöille. Ensimmäisen työryhmän osuus Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin neljännessä arviontiraportissa*. Ilmatieteen laitos.

HANSEN, P.J.K., 2010. *Comparing knowledge about greenhouse effect and ozone layer among Norwegian pupils finishing compulsory education in 1989, 1993 and 2005*. CiteSeerX.

HINDS, W.C., 1999. *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd edn. New York: Wiley.

HUFNAGEL, E., 2015. Preservice elementary teachers' emotional connections and disconnections to climate change in a science course. *Journal of Research*



*in Science Teaching*, **52**(9), pp. 1296-1324.

Ilmakehän kerrokset, 2019. Ilmatieteen laitos. Viitattu 21.3.2019. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-ja-saailmiot>

Ilmastojärjestelmän toiminta, Ilmasto.nyt, verkkosivu. Viitattu 11.4.2019. Saatavissa: <https://mooc.helsinki.fi/course/view.php?id=26#section-2>

Ilmastonmuutoksen vaikutukset. Ilmasto-opas. Viitattu 11.4.2019. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/ea1d7fc1-5a5a-457f-bd42-984e594685ba/vaikutukset.html>

Ilmastonmuutos – mistä on kyse?, Ilmasto.nyt, verkkosivu. Viitattu 11.4.2019. Saatavissa: <https://mooc.helsinki.fi/course/view.php?id=26#section-1>

IPCC, 2013. *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

IPCC, 2007. *Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor M. and Miller H.L.]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

IPCC, 1992. *Policymaker Summary of Working Group I (Scientific Assessment of Climate Change). In: Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments*. Canada.

JAKOBSSON, A., MÄKITALO, Å and SÄLJÖ, R., 2009. Conceptions of knowledge in research on students' understanding of the greenhouse effect: Methodological positions and their consequences for representations of knowing. *Science education*, **93**(6), pp. 955-995.

JONES, M.D.H. and HENDERSON-SELLERS, A., 1990. History of the greenhouse effect. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, **14**(1), pp. 1-18.

KOWALOK, M.E., 1993. Research lessons from acid rain, ozone depletion, and global warming. *Environment*, **35**(6), pp. 12-38.

LAINE, E., 2015. *Yläkouluikäisten nuorten tiedot ja kokemukset ilmastonmuutoksesta*, Itä-Suomen yliopisto.

Laki ylioppilastutkinnon järjestämisestä, L 26.8.2005/672. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050672>

LAMBERT, J.L., LINDGREN, J. and BLEICHER, R., 2012. Assessing Elementary Science Methods Students' Understanding About Global Climate Change. *International Journal of Science Education*, **34**(8), pp. 1167-1187.

LIN, J., 2017. Chinese Grade Eight Students' Understanding About the Concept of Global Warming. *EURASIA JOURNAL OF MATHEMATICS SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION*, **13**(5), pp. 1313-1330.

LINDSEY, R., 2009. Climate and Earth's Energy Budget. NASA Earth Observatory.

LIU, J., WANG, Q., HAN, L. and LI, B., 1983. Chemical engineering research & design. **119**, pp. 12-22.

LOPS 2003. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Vammala: Opetushallitus.

LOPS 2015. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015. Helsinki: Opetushallitus.

Maapallon ilmastohistoria. Ilmasto-opas. Viitattu 8.3.2019. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/b0b91934-12d1-49cd-88dd-7e08250a4e88/maapallon-ilmastohistoria.html>

MCNEILL, K.L. and VAUGHN, M.H., 2012. Urban High School Students' Critical Science Agency: Conceptual Understandings and Environmental Actions Around Climate Change. *Research in Science Education*, **42**(2), pp. 373-399.

Mittaukset kertovat ilmaston muuttuvan. Ilmasto-opas. Viitattu 8.3.2019. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/60d35ca2-9874-406e-bb9f-608e5b60746d/mittaukset-kertovat-ilmaston-muuttuvan.html>

NEVANPÄÄ, T., 2005. "Sillä vois olla jotain tekemistä näitten kasvihuonekaasujen kanssa" ILMASTONLÄMPENEMINEN YLÄLUOKKALAISTEN KÄSITYKSISSÄ. *Jyväskylän yliopisto. Koulutuksen tutkimuslaitos*.

OCAL, A., KISOGLU, M., ALAS, A. and GURBUZ, H., 2011. Turkish prospective teachers' understanding and misunderstanding on global warming. *International Research in Geographical & Environmental Education*, **20**(3), pp. 215-226.

Opetussuunnitelmien ja tutkintojen perusteet. Opetushallitus. Viitattu 9.4.2019. Saatavissa: [https://www.oph.fi/saadokset\\_ja\\_ohjeet/opetussuunnitelmien\\_ja\\_tutkintojen\\_perusteet](https://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/opetussuunnitelmien_ja_tutkintojen_perusteet)

PAPADIMITRIOU, V., 2004. Prospective Primary Teachers' Understanding of Climate Change, Greenhouse Effect, and Ozone Layer Depletion. *Journal of Science Education and Technology*, **13**(2), pp. 299-307.

PIHKALA, P., 2018. Johdatus ympäristöahdistukseen. *Tieteessä tapahtuu*, **36**(6).

POPS 2004. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004. Vammala: Opetushallitus.

POPS 2014. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014. Helsinki: Opetushallitus.

RATINEN, I., 2008. Luokanopettajaksi opiskelevien käsitykset kasvihuoneilmistä ja ilmiön opettaminen maantieteessä. *Terra*, **120**(4), , pp. 235–242.

RATINEN, I.J., 2011. Primary Student-Teachers' Conceptual Understanding of the Greenhouse Effect: A mixed method study. *International Journal of Science Education*, **35**(6), pp. 929-955.

RATINEN, I., VIIRI, J. and LEHESVUORI, S., 2012. Primary School Student Teachers' Understanding of Climate Change: Comparing the Results Given by Concept Maps and Communication Analysis. *Research in Science Education*, **43**(5), pp. 1801–1823.

REINFRIED, S., AESCHBACHER, U. and ROTTERMANN, B., 2012. Improving students' conceptual understanding of the greenhouse effect using theory-based learning materials that promote deep learning. *International Research in Geographical and Environmental Education*, **21**(2), pp. 155-178.

SCHNABEL, R.R., LAMB, D., PIONKE, H.B. and GENITO, D., 2017. *Acid rain*. McGraw-Hill Education.

SEITAMAA-HAKKARAINEN, P., 2014. Kvalitatiivinen sisällönanalyysi. METODIX. Viitattu 17.7.2019. Saatavissa: <https://metodix.fi/2014/05/19/seitamaa-hakkarainen-kvalitatiivinen-sisallon-analyysi/>

SHEPARDSON, D.P., NIYOGI, D., CHOI, S. and CHARUSOMBAT, U., 2011. Students' conceptions about the greenhouse effect, global warming, and climate change. *Climatic Change*, **104**(3), pp. 481-507.

SHRIVER, D.F. and ATKINS, P.W., 1999. *Inorganic chemistry*. 3rd edn. Oxford: Oxford U. P.

TIPLER, P.A. and LLEWELLYN, R.A., 2008. *Modern physics*. 5th edn. New York: Freeman.

TUOMI, J. and SARAJÄRVI, A., 2018. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Uudistettu laitos. edn. Helsinki: Tammi.

Valtioneuvoston asetus lukiokoulutuksesta, A 810/2018. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180810>

Valtioneuvoston asetus ylioppilastutkinnosta, A 915/2005. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050915>

Vesihöyry on merkittävin kasvihuonekaasu. Ilmasto-opas. Viitattu 22.3.2019. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3f4249f8-f39a-4ff6-889a-eea389b69cb7/vesihoyry.html>

YLIOPPILASTUTKINTOLAUTAKUNTA. Yleiset määräykset ja ohjeet. Viitattu 23.5.2019. Saatavissa: <https://www.ylioppilastutkinto.fi/maaraykset/yleiset-maaraykset-ja-ohjeet>

YTL. Ylioppilastutkintolautakunnan sensorit.

ZUMDAHL, S.S. and DECOSTE, D.J., 2012. *Chemical principles*. 7th edn. Belmont, CA: CENGAGE Learning Custom Publishing.

## LIITE A: OTE ANALYYSITÄULUKOSTA

[illegible]

